

**Proposta de Manejo para Otimização da Produção de  
Biogás em Biodigestores**

Marck Gregor Balbinot Gehlen

Orientador: Prof. Paulo Belli Filho

2010/1



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL**

**PROPOSTA DE MANEJO PARA OTIMIZAÇÃO DA  
PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM BIODIGESTORES**

**Marck Gregor Balbinot Gehlen**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
JULHO/2010**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL**

**PROPOSTA DE MANEJO PARA OTIMIZAÇÃO DA  
PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM BIODIGESTORES**

**Marck Gregor Balbinot Gehlen**

**Trabalho apresentado à  
Universidade Federal de  
Santa Catarina para  
Conclusão do curso de  
Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental**

**Orientador  
Prof. Dr. Paulo Belli Filho**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
JULHO/2010**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTA

PROPOSTA DE MANEJO PARA OTIMIZAÇÃO DA  
PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM BIODIGESTORES

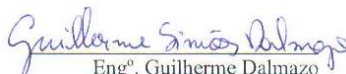
MARCK GREGOR BALBINOT GEHLEN

Trabalho submetido à Banca  
Examinadora como parte dos requisitos para Conclusão do Curso de  
Graduação em  
Engenharia Sanitária e Ambiental–TCC II

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Paulo Belli Filho  
(Orientador)



Eng.º Guilherme Dalmazo  
(Membro da Banca)



Eng.º Wanderli Rogério Moreira Leite  
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)  
JULHO/2010

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus.

Aos meus pais, Norberto e Edi, pelo carinho, incentivo e compreensão durante toda essa jornada.

Ao Prof. Paulo Belli Filho pelo apoio e orientação durante esse trabalho.

Aos professores do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, que contribuíram de força imensurável para a construção do meu caráter e saber.

Ao pessoal da Avesuy, que proporcionou todos os meios para a realização deste trabalho.

A Sadia S/A, pela oportunidade oferecida.

Ao Eng.º Guilherme Dalmazo, pela orientação e colaboração na construção deste trabalho.

A Eng.<sup>a</sup> Sandra Bazi, pela ajuda no trabalho em campo.

A minha namorada, Tatiana, pela paciência, compreensão e carinho.

A minha tia, Neiva, por me acolher em seu lar durante o período do trabalho.

A todos que de alguma forma colaboraram com o meu trabalho, muito obrigado.

## RESUMO

O estado de Santa Catarina, sendo o principal estado produtor de suínos do país, possui um efetivo de suínos da ordem de 7.846 milhões de cabeças. A suinocultura é geradora de uma grande quantidade de dejetos. Os dejetos suínos apresentam alta carga poluente, e são responsáveis pela contaminação de grande parte dos corpos hídricos do estado. Uma maneira de tratar esses dejetos é a utilização de biodigestores, que através da digestão anaeróbia, trata o dejetos e produz biogás. Esse biogás é uma ótima fonte energética. Para que um biodigestor seja economicamente viável, é necessário que ele produza o biogás em uma quantidade aceitável. Para isso, são necessários alguns cuidados com o biodigestor, entre eles, o manejo da biomassa. Esse trabalho tem como objetivo propor uma metodologia para o manejo de biodigestores para aumentar a produção de biogás a partir da aplicação de melhores práticas de manejo. Essa proposta de manejo envolvia agitação da biomassa, retirada de material inerte e até inoculação de bactérias. Em um dos cinco biodigestores avaliados a média diária de produção de gás praticamente quadruplicou, de 59,75 m<sup>3</sup>/dia para 291,5 m<sup>3</sup>/dia. Nos outros quatro biodigestores o resultado não foi tão satisfatório. Porém todos os biodigestores reagiram muito bem quanto a agitação do sistema. Provando que ela é um fator do manejo muito importante.

Palavras – chave: Biodigestores, manejo, vazão, biogás.

## ABSTRACT

The state of Santa Catarina, being the main swine producer state in Brazil, has an actual head count of about 7, 846 million animals. Swine production generates large amounts of waste. The big manure has high pollution load, and it is responsible for the contamination of most hydric recourses in the State. One way of treating such waste is to use biodigesters, that through anaerobic digestion, treats the manure and produce biogás. The biogas is an excellent energy source. To a biodigester be economically viable, it needs to produce biogas in an acceptable amount. For this, some care is necessary with it, including the management of biomass. This dissertation aims to propose a methodology for managing biodigesters to increase production of biogas from the application of best management practices. This management proposal involved agitation of biomass, removal of inert material and inoculation of bacteria. In one of the five digesters assessed the average daily gas production almost quadrupled, from 59,75 m<sup>3</sup>/day to 291,5 m<sup>3</sup>/day. In the other four biodigesters, the result was not so satisfactory. However all biodigesters have reacted very well with the agitation system. Proving that is a very important factor in the management.

Key – Words: Biodigesters, management, flow, biogas.

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. PRODUÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS EM DIFERENTES FASES DE DESENVOLVIMENTO. ....	16
TABELA 2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS DEJETOS DE SUÍNOS EM CONCÓRDIA/SC .....	17
TABELA 3. COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS .....	28
TABELA 4. EQUIVALÊNCIA ENERGÉTICA MÉDIA DE 1M <sup>3</sup> DE BIOGÁS.....	30
TABELA 5. DESCRIÇÃO DAS PROPRIEDADES DO PILOTO .....	34
TABELA 6. VAZÃO TOTALIZADA NO DIA. ....	44
TABELA 7. VAZÕES MÍNIMAS, MÉDIAS E MÁXIMAS ANTES DO PILOTO.....	58
TABELA 8. VAZÕES MÍNIMAS, MÉDIAS E MÁXIMAS DO PILOTO.....	58



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA DAS ROTAS METABÓLICAS E GRUPOS MICROBIANOS ENVOLVIDOS NA DIGESTÃO ANAERÓBIA .....	19
FIGURA 2. BIODIGESTOR MODELO CANADENSE. ....	25
FIGURA 3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO .....	33
FIGURA 4. ARQUITETURA DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS.....	38
FIGURA 5. CONJUNTO MOTOBOMBA UTILIZADO NO PROJETO .....	39
FIGURA 6. CONJUNTO MOTOBOMBA UTILIZADO NO PROJETO .....	39
FIGURA 7. CLP (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL) ZAP 900.....	40
FIGURA 8. UNIDADE DE MEMÓRIA PORTÁTIL .....	40
FIGURA 9. PROPRIEDADE P1 .....	42
FIGURA 10. PARTE DE PLANILHA COM OS RESULTADOS DA PROPRIEDADE P1 .....	43
FIGURA 11. PROPRIEDADE P2 .....	46
FIGURA 12. PROPRIEDADE P3 .....	50
FIGURA 13. PROPRIEDADE P4 .....	53
FIGURA 14. PROPRIEDADE P5 .....	55

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. VOLUME ACUMULADO DA P1 .....	44
GRÁFICO 2. VAZÃO DIÁRIA TOTALIZADA ANTES DO PILOTO NA P1 .....	45
GRÁFICO 3. VAZÃO DIÁRIA TOTALIZADA NAS 3 SEMANAS DO PILOTO. ....	45
GRÁFICO 4. VOLUME ACUMULADO DA PROPRIEDADE P2.....	47
GRÁFICO 5. VAZÃO TOTALIZADA ANTES DO PILOTO NA P2.....	47
GRÁFICO 6. VAZÃO DIÁRIA TOTALIZADA NO PERÍODO DO PILOTO NA PROPRIEDADE P2 .....	48
GRÁFICO 7. VOLUME ACUMULADO DA P3 .....	50
GRÁFICO 8. INCREMENTO DE VAZÃO NO PERÍODO DO PILOTO .....	51
GRÁFICO 9. VAZÃO DIÁRIA TOTALIZADA ANTES DO PILOTO NA P3 .....	51
GRÁFICO 10. VAZÃO DIÁRIA TOTALIZADA 1ª SEMANA DO PILOTO .....	52
GRÁFICO 11. VOLUME ACUMULADO DE 01/12/09 ATÉ 17/03/2010 .....	53
GRÁFICO 12. VAZÃO DIÁRIA ANTES DO PILOTO NA P4.....	54
GRÁFICO 13. VAZÃO DIÁRIA TOTALIZADA NO PERÍODO DO PILOTO NA P4 ...	54
GRÁFICO 14. VOLUME ACUMULADO P5.....	56
GRÁFICO 15. VAZÃO DIÁRIA TOTALIZADA P5 DE 26/01/09 ATÉ 22/02/10....	56
GRÁFICO 16. VAZÃO DIÁRIA NO PERÍODO DO PILOTO NA P5 .....	57

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>14</b>
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>14</b>
3.1	A SUINOCULTURA NO BRASIL	14
3.2	A SUINOCULTURA EM SANTA CATARINA	15
3.3	DEJETOS DE SUÍNOS	15
3.4	DIGESTÃO ANAERÓBIA	18
3.4.1	<i>Fundamentos da digestão anaeróbia</i>	18
3.4.2	<i>Fases da digestão anaeróbia</i>	18
3.4.3	<i>Fatores intervenientes na digestão anaeróbia</i>	20
3.5	BIODIGESTOR	25
3.5.1	<i>Manejo do biodigestor</i>	27
3.6	O BIOGÁS	27
3.6.1	<i>Produção do biogás</i>	29
3.6.2	<i>Valorização do biogás</i>	30
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>32</b>
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	32
4.2	ESCOLHA E CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES	32
4.3	ESTABELECIMENTO DAS AÇÕES DE MANEJO	34
4.4	CRONOGRAMA DO PROJETO	35
4.5	MATERIAIS	38
4.5.1	<i>Bomba</i>	38
4.5.2	<i>CLP</i>	39
4.5.3	<i>Bactérias</i>	41
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>41</b>
5.1	PROPRIEDADE P1	41
5.2	PROPRIEDADE P2	46
5.3	PROPRIEDADE P3	49
5.4	PROPRIEDADE P4	52
5.5	PROPRIEDADE P5	55
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>59</b>
6.1	PROPRIEDADE P1	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
6.2	PROPRIEDADE P2	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
6.3	PROPRIEDADE P3	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>

6.4	PROPRIEDADE P4-----	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
6.5	PROPRIEDADE P5-----	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES -----</b>	<b>60</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----</b>	<b>61</b>
<b>9</b>	<b>APENDICES -----</b>	<b>64</b>
9.1	APÊNDICE A -----	64

# 1 INTRODUÇÃO

O estado de Santa Catarina se apresenta como o principal estado produtor de suínos do Brasil, detendo um efetivo de suínos da ordem de 7,846 milhões de cabeças, concentrados principalmente na região oeste, seguido da região sul (IBGE, 2008).

A suinocultura é uma atividade pecuária de grande importância econômica, que em virtude à elevada produção de dejetos, pode originar múltiplos problemas no meio ambiente. Os dejetos quando lançados diretamente no meio natural afetam tanto a qualidade das águas, como dos solos e do ar. No caso das águas ocorre poluição orgânica, proliferação de microrganismos entéricos e aumento das concentrações de nitrato e de cobre. A poluição dos solos resulta essencialmente das elevadas taxas de aplicação dos dejetos como fertilizante e do excesso de fósforo (GUSMÃO, 2008).

Diversas tecnologias foram criadas para diminuir o impacto ambiental causado pelo lançamento de dejetos nos recursos naturais. O biodigestor é uma alternativa utilizada para a primeira etapa de tratamento de dejetos suínos, sendo composto por um tanque onde o dejetos é submetido à ação microbiana anaeróbia (ausência de oxigênio), e uma campânula na qual fica armazenado o gás resultante do processo, o biogás. Esse biogás pode ser usado para produção de energia elétrica, calor e até gerar créditos de carbono.

O biogás é uma mistura gasosa, composta basicamente por metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Esta mistura é inodora, inflamável e de alto poder calorífico, ou seja, sua combustão gera grande quantidade de calor, e por este motivo, o biogás possui grande interesse como fonte energética.

Porém, para que um biodigestor produza o biogás em quantidade satisfatória, são necessários alguns cuidados no manejo do dejetos no biodigestor. Kunz & Oliveira (2008) citam alguns desses cuidados: alimentação diária do biodigestor com o dejetos; agitação da biomassa e separação de sólidos fixos; entre outros.

O presente trabalho fez parte de um projeto piloto da Sadia S/A que tem como objetivo o aumento da produção de biogás através da implantação de uma proposta de metodologia de boas práticas de manejo dos biodigestores. A metodologia proposta foi desenvolvida pelo corpo técnico da referida empresa.

O trabalho foi realizado com dados coletados em 5 propriedades de integrados da Sadia S/A no município de Concórdia/SC e teve o apoio técnico da empresa Avesuy.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo propor uma metodologia para o manejo de biodigestores para aumentar a produção de biogás a partir da aplicação das melhores práticas de manejo nos biodigestores. Estas ações geram em campo uma melhor condição de digestibilidade da matéria orgânica presente nos dejetos, aumentando a produção de biogás por animal alojado.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Aumentar a produção de biogás em biodigestores;
- Comprovar que o manejo dos biodigestores é o ponto principal para o aumento da geração de biogás;

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 A suinocultura no Brasil**

O Brasil possui um plantel efetivo de mais de 36,8 milhões de animais (IBGE,2008). Nos últimos anos, no Brasil, o crescimento do número de suínos tem-se mantido praticamente constante.

Ao nível do mercado internacional, o Brasil vem aumentando sua participação, mas apenas quatro ou cinco países são responsáveis por mais de 90% do volume exportado de carne suína. O principal país que compra essa carne é a Rússia sendo responsável por mais de 50%. Uma das vantagens pelo potencial aumento da exportação de carne suína, é o fato de o Brasil estar livre de algumas doenças, tais como Pestes Suínas Africanas e a Aftosa. Além disso, a suinocultura brasileira possui um dos mais baixos preços de produção do mercado mundial devido,

principalmente, à combinação de tecnologia com um bom sistema de integração (GUSMÃO, 2008).

O sistema de produção animal passou por diversas modificações no decorrer do tempo, com o intuito de suprir a demanda por alimentos desta origem. Os sistemas produtivos modernos indicam um modelo de confinamento em unidades restritas, resultando no aumento da escala de produção. Este modelo de produção acaba acarretando, em alguns casos, grandes problemas ambientais nas regiões produtoras, devido ao grande volume de dejetos gerados (KUNZ, S/D).

### **3.2 A suinocultura em Santa Catarina**

De acordo com o IBGE, em 2008, Santa Catarina possuía um efetivo de suínos da ordem de 7,846 milhões de cabeças, concentrados principalmente na região oeste, com cerca de 76%, seguido da região sul com 10% do número total do estado. Segundo dados da Produção da Pecuária Municipal (PPM) de 2008, verifica-se que dentro do oeste catarinense, Concórdia é o município com maior número de suínos da região e do Estado com 2.174.366 (27,7%).

Dados da Associação Catarinense de Criadores de Suínos (ACCS, 2005) divulgam que a suinocultura catarinense além de possuir o melhor nível de produtividade do país, tanto no campo como na indústria, possui cerca de 27 mil suinocultores distribuídos principalmente por pequenas e médias propriedades rurais e é responsável, como já foi referido, por 20% da produção nacional correspondendo a 2,7 milhões de toneladas por ano, e por 0,7% da produção mundial.

No PIB estadual, a suinocultura é a segunda principal atividade, representando 19% do total e empregando diretamente em torno de 65 mil e, indiretamente, mais de 140 mil pessoas, (ACCS, 2006). No PIB Estadual, a suinocultura é a primeira principal atividade, participando com 21,43 % do total (ACCS, 2006).

### **3.3 Dejetos de suínos**

Hoje em dia, a produção de dejetos da suinocultura tornou-se um problema muito sério, principalmente pelo seu aumento em áreas cada vez menores. Estes dejetos são constituídos, essencialmente, por: fezes e urina dos animais; resíduos de rações; água, proveniente do excesso dos bebedouros e da utilizada na limpeza nas instalações; e pêlos, poeira e

outros materiais decorrentes do processo criatório (KONZEN, 1983). A quantidade e qualidade dos dejetos produzidos variam com o tipo de criação, com a quantidade de água utilizada nas instalações, com a estação do ano, com a alimentação e o número e categoria dos animais (ALVES, 2007).

De acordo com Silva (1996), os dejetos de suínos possuem elevadas concentrações de DQO (Demanda Química de Oxigênio), Sólidos Totais (ST) e Sólidos Totais Voláteis (STV), na ordem de 25.000 mg/L, 22.000mg/L e 16.000 mg/L, respectivamente. Nutrientes como o nitrogênio e o fósforo também estão presentes em concentrações elevadas, na ordem de 2.300 mg/L e 600 mg/L, respectivamente. Devido a estas características, os dejetos representam uma fonte de fertilizante, mas também uma fonte potencial de poluição quando o manejo for inadequado. Quando os dejetos são manejados corretamente, constituem-se em uma alternativa econômica para a propriedade rural, produzindo o biofertilizante e evitando a contaminação do meio ambiente.

Quanto à categoria de criação do produtor, têm-se: ciclo completo (CC), unidade de produção de leitões (UPL) e ciclo de terminação (CT). A Tabela 3.1 apresenta a produção de dejetos de suínos conforme as diferentes fases de desenvolvimento.

**Tabela 1.** Produção de dejetos de suínos em diferentes fases de desenvolvimento.

<b>Categoria de animais</b>	<b>Esterco (Kg/dia)</b>	<b>Esterco + Urina (Kg/dia)</b>	<b>Dejetos Líquidos (L/dia)</b>
Leitões na creche	0,35	0,95	1,4
Suínos de 25 a 100 Kg	2,3	4,9	7
Porca: reposição, pré-cobrição, cobrição e gestante	3,6	11	16
Porcas em lactação com leitões	6,4	18	27
Machos	3	6	9
<b>Média</b>	<b>2,35</b>	<b>5,8</b>	<b>8,6</b>

**Fonte: OLIVEIRA (1993)**

A quantidade total de resíduos líquidos produzidos varia de acordo com o desenvolvimento ponderal dos animais, apresentando



valores de 4,9% a 8,5% de seu peso vivo por dia, para a faixa de 15 a 100 kg, sendo a urina um aspecto importante na quantidade de dejetos líquidos produzidos. Em termos gerais, para cada litro ingerido por um suíno, resultam 0,6 litros de dejetos líquidos (OLIVEIRA, 1993).

Os dejetos de suínos são compostos orgânicos que contêm vários nutrientes. São, principalmente, ricos em nitrogênio (N) e fósforo (P), mas têm outros minerais como zinco, cádmio, chumbo, selênio, e uma elevada carga de microrganismos potencialmente patogênicos. E por isso, a sua aplicação em quantidades excessivas ou continuadas numa mesma área pode causar problemas ao solo e às águas, devido quer à presença de elementos ou compostos não assimiláveis pelas plantas ou utilizados pelos microrganismos dos solos, quer à acumulação desses elementos e seu posterior deslocamento através da erosão e/ou através da lixiviação tornando-se assim agentes poluidores quando lançados, diretamente no meio ambiente (GUSMÃO, 2008).

A Tabela 2 mostra os valores mínimo, médio e máximo para a caracterização físico-química dos dejetos suínos obtidos por Silva (1996) na unidade do sistema de tratamento de dejetos da EMBRAPA em Concórdia/SC.

**Tabela 2.** Caracterização físico-química dos dejetos de suínos em Concórdia/SC

<b>Parâmetros (mg/L)</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Médio</b>	<b>Máximo</b>
DQO	11.530	25.543	38.448
ST	12.697	22.399	49.432
SV	8.429	16.389	39.024
SF	4.268	6.010	10.409
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	220	429	850
Nitrogênio Total	1.660	2.374	3.710
Fósforo Total	320	578	1.180

**Fonte: SILVA (1996)**

A poluição do meio ambiente na região produtora de suínos é alta, comparando com o esgoto doméstico. A DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) é neste caso de cerca de 200 mg/L, enquanto a DBO dos dejetos de suínos varia entre 30 000 e 52 000 mg/L, ou seja, 260 vezes superior (OLIVEIRA, 1993).

O lançamento dos dejetos de suínos diretamente nos cursos d'água, além de comprometer a vida aquática, coloca em risco a saúde

da população que se utiliza dessa água. Também ocorrem outros problemas ambientais, como o aumento dos níveis de nutrientes nos solos, que podem atingir níveis tóxicos e provocar a poluição do ar (MIRANDA, 2005).

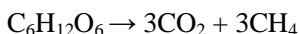
A digestão anaeróbia pelo uso de biodigestores é uma forma de manejo dos dejetos suínos, a qual se difundiu rapidamente dentro da suinocultura. O processo de digestão anaeróbia apresenta algumas limitações, principalmente quando se trata do abatimento de nutrientes, o que exige um cuidado especial com os efluentes que saem do sistema, sendo necessário um tratamento complementar (KUNZ & OLIVEIRA, 2006).

### **3.4 Digestão anaeróbia**

#### *3.4.1 Fundamentos da digestão anaeróbia*

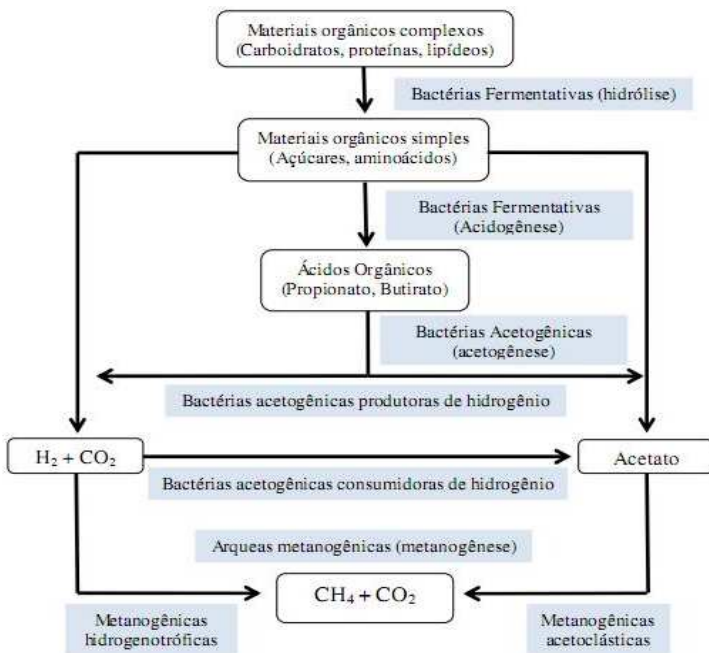
A digestão anaeróbia é um processo de oxidação da matéria orgânica, na ausência de oxigênio, resultando na produção de metano e dióxido de carbono. Nesta forma de digestão ocorrem dois tipos de processos metabólicos: a fermentação e a respiração. Durante a fermentação, a oxidação da matéria orgânica ocorre sem a presença de um aceptor final de elétrons, enquanto na respiração são empregados aceptores de elétrons inorgânicos. A gênese do metano ocorre preferencialmente na ausência do oxigênio como aceptor de elétrons, pois em sua presença a matéria orgânica é degradada pela via aeróbia (CHERNICHARO, 1997).

A reação de formação do metano é descrita abaixo:



#### *3.4.2 Fases da digestão anaeróbia*

A digestão anaeróbia possui 4 fases principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. A Figura 1 apresenta um esquema da digestão anaeróbia.



Fonte: Adaptado de BELLÍ F<sup>o</sup>. (1995)

**Figura 1.** Esquema das rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia

De acordo com Chernicharo (1997) as quatro fases podem ser descritas como:

a) **Hidrólise:** É a primeira etapa do processo de digestão anaeróbia, na qual os compostos orgânicos complexos são hidrolisados, resultando moléculas mais simples, permitindo sua passagem pela membrana celular das bactérias fermentativas. A hidrólise ocorre de forma lenta, podendo ser influenciada por diversos fatores, a exemplo: temperatura do reator, pH, tempo de detenção do substrato no reator, tamanho das partículas entre outros.

b) **Acidogênese:** Os produtos solúveis resultantes da primeira etapa são metabolizados pelas bactérias fermentativas, sendo os primeiros a atuar na etapa sequencial de degradação do substrato. A acidogênese resulta em compostos simples, tais como ácidos orgânicos de cadeia curta, alcoóis, dióxido de carbono e hidrogênio.

c) Acetogênese: ocorre a transformação dos produtos da acidogênese em ácido acético, precursor do metano, impedindo a acumulação de ácidos graxos voláteis, além do ácido acético. Esses, em concentrações relativamente altas, inibem a etapa final da digestão anaeróbia. A transformação dos ácidos graxos e dos alcoóis em ácido acético é feita pelas bactérias produtoras de hidrogênio (VERSTRAETE et al., 1981, apud BELLI Fº, 1995). Durante a acetogênese, os ácidos graxos voláteis, bem como os alcoóis, são transformados em ácido acético pelas bactérias produtoras de hidrogênio conforme Philippi (1992 apud BELLI Fº, 1995). Cerca de 70% da DQO afluente se converte em ácido acético e o restante, em CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>.

d) Metanogênese: A etapa final do processo de degradação, metanogênese, é realizada pelas bactérias metanogênicas. Estas utilizam só um número limitado de substratos, tais como ácido acético, hidrogênio, dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. Em função de sua afinidade por substrato e magnitude de produção de metano, as metanogênicas são divididas em dois grupos principais, um que forma metano a partir de ácido acético (bactérias acetotróficas), e o segundo que produz metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono (bactérias hidrogenotróficas) (CHERNICHARO, 1997).

#### 3.4.3 Fatores intervenientes na digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia para ser viabilizada depende de certas condições ambientais, além da interação entre bactérias fermentativas e metanogênicas, e de um delicado balanço do sistema ecológico, com especial atenção às bactérias metanogênicas, mais sensíveis às variações das condições do meio (ALVES, 2007).

Alguns fatores que influenciam a dinâmica das reações na digestão anaeróbia, são comentados a seguir.

##### *Nutrientes*

De acordo com Zago (2003), os principais nutrientes são o carbono e o nitrogênio, onde o primeiro é responsável por fornecer energia e o segundo por possibilitar a formação das células, sendo indispensável à formação de proteínas. O carbono é consumido em uma taxa cerca de 30 vezes maior que o nitrogênio, sendo que a falta deste

último impede a proliferação das bactérias, reduzindo a produtividade de gás metano.

Os microrganismos podem necessitar, em sua nutrição, da suplementação de nutrientes específicos, denominados de micronutrientes, e que representam cerca de 4% do peso seco das células. Assim, além dos macronutrientes fundamentais (C, H, N, P, S), ferro, cobalto, níquel, magnésio, cálcio, sódio, bário, molibdênio, tungstênio, molibdato e selênio podem ser requeridos. Selênio, tungstênio e cobalto, por exemplo, atuam como co-fatores para várias enzimas das bactérias metanogênicas e acetogênicas (MALINA JR. & POHLAND, 1992).

Estima-se como requerida, uma relação DQO:N:P variando de 400:7:1 a 1000:7:1, para alta e baixa carga de substrato respectivamente (MALINA JR & POHLAND, 1992). Barijan (1995; apud ALVES, 2007) considera uma relação ótima entre C:N:P de 100:2,5:0,5 para aumentar a produção de metano.

Dejetos agrícolas têm, normalmente, esses nutrientes em quantidades adequadas para a digestão anaeróbia. Nitrogênio e fósforo, geralmente, estão abundantemente presentes e em muitos casos será necessário aplicar um pós-tratamento para adequar o efluente tratado (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

### *Temperatura*

A temperatura é um dos fatores de maior influência no processo de digestão anaeróbia. Afeta aspectos do processo diretamente relacionados com a atividade biológica dos microrganismos envolvidos, tais como a velocidade de crescimento das bactérias, a produção de biogás, o grau de utilização do substrato, a duração do arranque e a capacidade de resposta a variações súbitas na carga do digestor, (CCE, 2000).

Três faixas de temperatura estão associadas a este crescimento e METCALF & EDDY (1991) destacam um intervalo ótimo para cada uma dessas faixas de temperatura: (a) psicrófila, de 12 a 18°C; (b) mesófila, de 25 a 40°C; e (c) termófila, de 55 a 65°C.

A temperatura mais favorável ao crescimento dos microrganismos anaeróbios é de 35°C, ou valores superiores, em torno de 55°C. Em temperaturas abaixo, ocorrem normalmente dificuldades no funcionamento e no arranque do processo, devido às baixas velocidades de crescimento das bactérias, (CCE, 2000)

### *Potencial Hidrogeniônico – pH*

O valor de pH é um parâmetro importante no metabolismo dos microrganismos. A maioria apresenta um valor ótimo de pH, onde sua velocidade de crescimento é máxima (CCE, 2000).

As bactérias produtoras de metano têm um crescimento ótimo na faixa de pH entre 6,6 e 7,4, embora se possa conseguir estabilidade na formação de metano numa faixa mais ampla, entre 6,0 e 8,0. Valores abaixo ou acima desta faixa podem inibir por completo as bactérias formadoras de metano. O pH ótimo depende do tipo de microrganismo envolvido no processo, bem como, do tipo de substrato (CHERNICHARO, 1997).

Dos grupos microbianos atuantes no processo de digestão anaeróbia, as bactérias metanogênicas apresentam maior sensibilidade a variações de pH, uma vez que as bactérias acidogênicas apresentam grande tolerância principalmente a baixos valores deste parâmetro, podendo a acidogênese ocorrer mesmo em situações de inibição da fase metanogênica. Os grupos microbianos responsáveis pela acidogênese possuem valores ótimos para pH entre 5,5 e 6,0. O pH em biodigestores anaeróbios é controlado pelo sistema de tamponamento por bicarbonato, sendo assim, o pH depende da pressão parcial do CO<sub>2</sub> e da concentração de componentes ácidos e básicos na fase líquida. (CCE, 2000).

Dessa forma, o controle do pH do processo objetiva a eliminação do risco de inibição dos microrganismos metanogênicos, evitando falhas no processo de formação do metano (CHERNICHARO, 1997).

### *Potencial de oxiredução*

O potencial redox (Eh) é um parâmetro que identifica a capacidade de troca ou transferência de elétrons, ao qual é influenciado pela presença de oxigênio. O potencial de oxirredução é medido em mV de oxigênio, onde um ambiente de oxidação apresenta valor positivo para Eh, e um ambiente de redução apresenta valor negativo de Eh (MONTEIRO, 2005).

Valores da ordem de -500 mV sugerem elevado estado de anaerobiose e a capacidade redutora do meio, indicando bom funcionamento. Quando acontece a elevação para valores da ordem de -300 mV, ocorre nos digestores a predominância da fase ácida, indicando a existência de anaerobiose mas, também, a ocorrência de substâncias não completamente reduzidas, como ácidos voláteis (OLIVEIRA, 1993)

Quando o potencial redox é menor que  $-300$  mV, há degradação anaeróbia de compostos orgânicos e ocorre produção de metano. Durante essa produção, compostos orgânicos simples, como o acetato, são convertidos em metano, e dióxido de carbono e hidrogênio são combinados, também para formar metano (ALVES, 2007).

### *Tempo de Retenção Hidráulica (TRH)*

O TRH é correspondente ao período determinado pela razão entre o volume do biodigestor e o volume de carga diária. Segundo Hohlfeld e Sasse (1986) citado por Gosmann (1997), o tempo de retenção hidráulica mais comum para dejetos suínos, em temperatura mesofílica, é de 15 a 25 dias. O tempo de retenção pode ser diminuído através da adição de nutrientes, aumento da temperatura ou pelo aumento da agitação.

### *Sólidos Totais*

A concentração de sólidos totais (ST) ou matéria seca compreendem um parâmetro fundamental para a fermentação metanogênica. Uma alta concentração de ST é interessante por duas razões principais; a primeira porque aumenta a concentração de bactérias metanogênicas acelerando o processo de formação do metano; e a segunda, reduz o tempo de retenção hidráulica, reduzindo assim as dimensões do biodigestor (MAGALHÃES, 1986).

O mesmo autor considera ideal uma concentração de sólidos nos dejetos de 8%, enquanto Zago (2003) considera uma variação de 8 a 10% de ST. Oliveira e Higarashi (2006) citando Scherer et al (1996), relatam que em estudos realizados em propriedades produtoras de suínos no oeste catarinense, foi observado que a quantidade de ST média foi de 3%. A razão deste baixo valor de sólidos totais se deve ao grande desperdício de água na lavagem das baias, dos bebedouros e vazamentos nas redes hidráulicas.

### *Substancias tóxicas e inibidoras*

O processo de digestão anaeróbia pode ser inibido pela presença de diversos materiais tóxicos. Esses materiais podem ser causados pela composição do efluente a ser tratado, como por exemplo os sulfetos, ou ser produtos do próprio processo metabolismo das bactérias presentes no digestor, como é o caso dos ácidos voláteis quando se acumulam e

ultrapassam o poder tampão do meio. Outros agentes, em níveis excessivos, podem inibir o processo tais como nitrogênio amoniacal, íons minerais, metais pesados, antibióticos, oxigênio, metais alcalinos e alcalinos-terrosos (OLIVEIRA, 1993).

Conforme Lagrange (1979), citado por Gosmann (1997), os íons de minerais são indispensáveis ao metabolismo das bactérias, sendo benéficos em baixas concentrações, mas inibem o metabolismo bacteriano em altas concentrações. Os mais importantes são os cátions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ . Os metais pesados em concentrações superiores a 1 mg/L, de cobre, de níquel, de cromo, de zinco e de chumbo, são geralmente tóxicos ao metabolismo bacteriano (LAGRANGE, 1979, citado por BELLI Fº, 1995).

Embora o nitrogênio amoniacal possa ser uma fonte de nitrogênio para os microrganismos, quando se encontra em concentrações elevadas e em certas condições de pH, pode se tornar tóxico para as bactérias metanogênicas, (CCE, 2000). No processo anaeróbio a amônia está na forma iônica  $\text{NH}_4^+$ , pois o pH está à volta da neutralidade, sendo a forma gasosa inibidora a uma concentração menor que na forma iônica (OLIVEIRA et al., 1993). Concentrações de amônia entre 50 a 200 mg/L são benéficas ao processo. Valores entre 200 e 1.000 mg/L não têm efeito adverso e na faixa de 1.500 a 3.000 mg/L há efeito inibidor se o pH for maior que 7,4. Se a concentração de amônia foi superior a 3.000 mg/L os efeitos podem ser considerados tóxicos (NOGUEIRA, 1992; apud ALVES, 2007).

Para efluentes com elevado teor de sulfatos e sulfitos, o tratamento pelo processo anaeróbio, pode produzir sulfetos, que em meio ácido, é parcialmente convertido em  $\text{H}_2\text{S}$ , gás tóxico para as bactérias metanogênicas, (CCE, 2000). Van Haandel & Lettinga (1994), citando Rinzema (1989), mostrou que a concentração de sulfeto para uma toxicidade significativa é de 50 a 200 mg/l. O sulfeto pode ser formado dentro do reator pela redução de sulfato.

Os antibióticos das rações podem provocar inibição do desenvolvimento das bactérias (GUSMÃO, 2008).

Uma acumulação dos ácidos graxos voláteis (AGV) além de indicar a instabilidade do processo anaeróbio, pode contribuir também para a inibição do processo. Estes ácidos podem penetrar a membrana celular das células e depois de assimilados, induzem uma descida do pH a nível intracelular e, conseqüentemente, levar a um decréscimo na velocidade metabólica (CCE, 2000).



### 3.5 Biodigestor

O biodigestor é um reator biológico que degrada os dejetos animais em condições anaeróbias, produzindo um efluente líquido (biofertilizante) e gerando o biogás (KUNZ & OLIVEIRA, 2008). Ele é composto por um tanque, onde acontece a fermentação da matéria orgânica, uma campânula, de ferro, PVC ou fibra de vidro, com o intuito de armazenar o biogás produzido.

LAGRANGE (1979) citado por ALVES (2007) classifica os digestores, segundo o regime de alimentação, em: (a) contínuos; (b) semicontínuos; e (c) descontínuos. Os digestores contínuos apresentam a desvantagem de, dificilmente aceitarem materiais sólidos ou pastosos. Já nos digestores descontínuos, desenvolvidos especialmente para a produção de gás, a operação não pode ser regular, pois ela começa após o carregamento e fechamento do reator e pára quando a produção de gás baixa, até tornar-se nula. Os semicontínuos apresentam vantagens de ambos e foram desenvolvidos para aplicação no tratamento de lodo e/ou esterco de animais.

No Brasil são utilizados três modelos de biodigestores: modelo Chinês, Indiano e Canadense. O modelo canadense (Figura 2), construído em lona de PVC é o mais utilizado atualmente no Brasil (KUNZ & OLIVEIRA, 2008).



Fonte: Pereira (2009)

**Figura 2.** Biodigestor modelo canadense.

No estado de Santa Catarina a tecnologia da digestão anaeróbia foi estimulada através da Associação de Crédito e ACARESC, no início da década de 1980. Foram instalados cerca de 750 biodigestores, com o intuito de gerar energia, calor e tratar os dejetos de propriedades produtoras de suínos (MIRANDA, 2005).

A capacidade do biodigestor em degradar os dejetos depende de vários fatores como temperatura, sólidos voláteis e atividade dos microorganismos presentes no biodigestor (KUNZ & OLIVEIRA, 2008).

De acordo com Oliveira e Higarashi (2006), a conversão da biomassa em metano pode acontecer em três faixas de temperatura; a biometanização termófila ocorre entre 45 e 60°C, a mesófila entre 20 e 45°C e a psicrófila se dá em temperaturas menores que 20 °C. Grande parte dos biodigestores em funcionamento foi projetada para a faixa mesófila, embora a operação de biodigestores na faixa termófila seja possível, há muitos empecilhos técnicos que inviabilizam sua construção, como o aquecimento para trabalhar em tal faixa e a instabilidade do processo.

ZEEMAN (1991), experimentou a digestão de lodo de suínos, com DQO de 74 g/L, em um biodigestor piloto de 6 m<sup>3</sup>, e temperatura de processo de 15, 20 e 30°C. A produção volumétrica de metano alcançou seu valor máximo (0,25 L CH<sub>4</sub>/L.dia), para a temperatura de 30°C. A 15°C obteve-se a menor produção de gás. Os resultados revelaram, também, que há uma degradação quase completa dos ácidos graxos voláteis (AGV) quando o experimento foi conduzido a 30°C. Quanto à influência da diluição do lodo na taxa cumulativa de produção de metano, experimentou-se a digestão de lodo concentrado e diluído, observando-se uma maior, e decrescente produção, para temperaturas de 30, 20 e 15°C, respectivamente. Para a temperatura de 15°C, entretanto, o efeito da diluição mostrou-se significativo, com melhor desempenho para o lodo diluído. A inibição na produção para o lodo concentrado pode ser atribuída a alta concentração de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

ZEEMAN (1991) finaliza seus experimentos atestando a viabilidade e estabilidade da digestão anaeróbia do lodo de suínos em um biodigestor, contanto que a percentagem de inóculo, duração do tempo de enchimento, temperatura de processo e concentração do lodo afluente sejam ajustados; e considera o processo como estável, quando os ácidos graxos voláteis (AGV) são removidos dentro do período de retenção do efluente.

### 3.5.1 *Manejo do biodigestor*

Para que o biodigestor tenha uma boa eficiência, tanto no tratamento do efluente quanto na produção de gás, é necessário ter alguns cuidados no seu manejo.

KUNZ & OLIVEIRA (2008) citam alguns cuidados importantes no manejo de um biodigestor modelo canadense. São eles:

- Evitar intervalos muito longos para a alimentação do biodigestor (recomenda-se alimentação diária);
- Evitar diluição excessiva dos dejetos (água de chuva, bebedouros, lavagem, etc);
- Em biodigestores com grandes volumes de biomassa pelo seu regime hidráulico é recomendável a agitação da biomassa e separação preliminar de sólidos fixos (caixa de areia);
- O biodigestor faz parte de um sistema de tratamento de dejetos, não podendo ser considerado como etapa final.

Os autores também citam as vantagens do mesmo modelo.

- O resultado da decomposição dos dejetos é a geração de um gás de alto poder energético, capaz de substituir a lenha, gasolina e o GLP;
- Valorização dos dejetos para uso agrônômico com biofertilizante;
- Redução da carga orgânica;
- Menor tempo de retenção hidráulica e de área para a degradação anaeróbia, em comparação com sistema de tratamento em lagoas.

## 3.6 **O biogás**

O biogás é uma mistura gasosa e combustível, produzida através da digestão anaeróbia, ou seja, através da biodegradação de matéria orgânica pela ação de bactérias na ausência de oxigênio (ALVES, 2007).

Este é um processo natural que ocorre em pântanos, mangues, lagos e rios. No entanto, a produção de biogás também é possível a partir de diversos resíduos orgânicos, como esterco de animais, lodo de esgoto, lixo doméstico, resíduos agrícolas, efluentes industriais e plantas aquáticas. Neste caso, quando a digestão anaeróbia é realizada em

biodigestores especialmente planejados, a mistura gasosa produzida pode ser usada como combustível, o qual, além de seu alto poder calorífico, de não produzir gases tóxicos durante a queima e de ser uma ótima alternativa para o aproveitamento do lixo orgânico, ainda deixa como resíduo um lodo que é um excelente biofertilizante.

O biogás é formado basicamente por metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), além de baixas concentrações de nitrogênio, sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e oxigênio ( $\text{O}_2$ ) (BELLI Fº., 1995).

Na tabela 3 é apresentada a composição do biogás.

**Tabela 3.** Composição do biogás

<b>Componente</b>	<b>Teor em volume %</b>
Metano ( $\text{CH}_4$ )	50 a 75
Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )	25 a 40
Hidrogênio ( $\text{H}_2$ )	1 a 3
Nitrogênio ( $\text{N}_2$ )	0,5 a 2,5
Oxigênio ( $\text{O}_2$ )	0,1 a 1
Gás Sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ )	0,1 a 0,5
Amonio ( $\text{NH}_3$ )	0,1 a 0,5
Monóxido de Carbono ( $\text{CO}$ )	0 a 0,1
Água ( $\text{H}_2\text{O}$ )	Variável

**Fonte: PIRES (2000) apud PINTO (2006).**

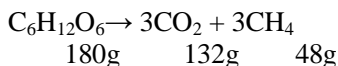
Segundo OLIVEIRA (S/D) a produção de biogás é determinada, entre outros fatores, pela temperatura de operação do biodigestor, sendo que nos Estados do Sul a faixa de temperatura da biomassa situa-se entre 20°C e 25°C, entretanto para os Estados situados no centro do país a temperatura situa-se entre 25°C e 30°C. Desta forma pode-se afirmar que as bactérias predominantes na digestão anaeróbia, que ocorre no biodigestor, são predominantemente as mesofílicas, cuja faixa de temperatura situa-se entre 20°C e 45°C

Outro fator a ser considerado é a diluição dos dejetos, pelo desperdício de água utilizado na limpeza das baias dos animais, pelos vazamentos existentes nos bebedouros, entrada de água da chuva nos sistemas de manejo dos dejetos e pelo uso de lamina d'água nos sistemas de produção. O grau de diluição pode ser determinado pela observação da Matéria Seca (MS) ou Sólidos Totais (ST) presentes nos dejetos, sendo que os Sólidos Voláteis (SV), que são os substratos para

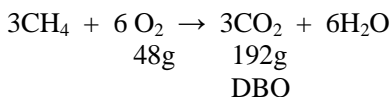
as bactérias metanogênicas, representam entre 70% a 75% dos Sólidos Totais, para o caso dos dejetos dos suínos. Os SV, são os responsáveis diretos pela produção de biogás. Sendo que, quanto maior for sua concentração de Sólidos Voláteis na alimentação diária do biodigestor ( $\text{kg/m}^3$ ) maior será a capacidade do biodigestor de produção de biogás (OLIVEIRA, S/D).

### 3.6.1 Produção do biogás

Segundo METCALF & EDDY (1991), a conversão da matéria orgânica em metano, tendo a glicose como fonte de energia, pode ser calculada estequiometricamente, como a seguir:



Com a oxidação do metano:



Então, a relação DBO/glicose é 192/180 e 1 kg de glicose (matéria orgânica) produz, em metano ( $\text{CH}_4$ ):

$$\text{kg CH}_4 = (48/180) / (192/180) = 0,25$$

Assim, para cada kg de DBO convertido produz 0,25 kg de metano. Logo, o volume de 0,25 kg de metano produzido pela estabilização da matéria orgânica pode ser calculado como segue:

$$\begin{array}{l} \text{V CH}_4 = 0,25 \text{ kg } (10^3 \text{ g/kg}) \cdot \frac{1 \text{ mol}}{16\text{g}} \cdot \frac{22,4 \text{ L}}{1 \text{ mol}} (10^3 \text{ L/m}^3) = 0,35 \\ \text{m}^3 \end{array}$$

$$1 \text{ kg DBO} = 0,35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$$

BELLI F. (1995) diz que, em se tratando de dejetos suínos, a eliminação de 1 grama de DQO leva a produção de 0,36 litro de metano; esta produção de metano depende, diretamente, da degradação dos

ácidos graxos voláteis (AGV) e não está ligada concentração de ácido acético.

Para OLIVEIRA et al (1993), um suíno pode produzir 0,180 m<sup>3</sup>/dia de biogás; ou ainda, 1,0 m<sup>3</sup> de dejetos suíno produzem em torno de 0,5 m<sup>3</sup> de biogás, que energeticamente equivalente a 0,33L de óleo diesel, ou 0,35 L de gasolina.

Conforme ZAGO (2003), a quantidade de biogás gerada através da biodigestão é dada em função do tipo de material fermentado e das condições do ambiente. Em biodigestores alimentados com dejetos de suínos, para a produção de 1 m<sup>3</sup> de biogás, são necessários 2,25 kg de dejetos. Também se pode fazer uma relação entre produção de biogás e número de animais, onde cada suíno é capaz de produzir 0,1431 m<sup>3</sup> de biogás por dia.

### 3.6.2 Valorização do biogás

Segundo Zago (2003), o poder calorífico do biogás situa-se na faixa de 5000 a 7000 Kcal/m<sup>3</sup>, sendo este valor função do grau de pureza do gás, ou seja, o percentual de metano presente na mistura. Um maior percentual de metano confere maior grau de pureza ao biogás, e conseqüentemente um poder calorífico mais elevado. Portanto o interesse da utilização do biogás como recurso energético deve-se pela presença de metano. Na tabela 4 a seguir, é mostrada a equivalência energética média de 1 m<sup>3</sup> de biogás.

**Tabela 4.** Equivalência Energética média de 1m<sup>3</sup> de biogás

<b>Produto</b>	<b>Equivalente</b>
Carvão de lenha	0,735 a 1,5 kgf *
Óleo diesel	0,553 L
Gasolina comum	0,613 L
Álcool Hidratado	0,790 L
Querosene	0,579 L
GLP	0,454 kgf
Energia elétrica	1,428 Kwh

\*conforme a presença de umidade

**FONTE: Adaptado de Macintyre (1997).**

NOGUEIRA (1992) citado por ALVES (2007) afirma que o poder calorífico do biogás depende, além do teor de metano, do grau de

umidade, e cita que um biogás contendo aproximadamente 70% de metano tem poder calorífico de 5.588 kcal/m<sup>3</sup> (6,5 kWh/m<sup>3</sup>). Se este biogás for desumidificado o seu poder calorífico aumenta. Removendo-se, também, o CO<sub>2</sub>, por borbulhamento em solução alcalina, o poder calorífico aproxima-se do correspondente ao metano puro, que seria próximo de 9.000 kcal/m<sup>3</sup> (10,5 kWh/m<sup>3</sup>).

GUSMÃO (2008) cita algumas das vantagens do uso do biogás quer ao nível de tratamento dos resíduos, quer em termos energéticos e ambientais e quer a nível económico.

Em termos de tratamento dos resíduos:

1. É um processo natural para se tratar resíduos orgânicos;
2. Requer menos espaço que aterros sanitários ou compostagem;
3. Diminui o volume de resíduo a ser descartado.

Em termos de energia:

1. É uma fonte de energia renovável;
2. Produz um combustível de alta qualidade e ecologicamente correto (a combustão do metano só produz água e dióxido de carbono, não gerando nenhum gás tóxico).

Em termos de meio ambiente:

1. Maximiza os benefícios da reciclagem/reaproveitamento da matéria orgânica;
2. Produz como resíduo o biofertilizante, rico em nutrientes e livres de microorganismos patogênicos;
3. Reduz significativamente as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e de metano (CH<sub>4</sub>) para atmosfera, gases causadores do efeito estufa;
4. Reduz a geração de odor nas vizinhanças, de chorume e de contaminação do lençol freático;

A nível económico:

1. Apesar do alto custo inicial, numa perspectiva de longo prazo resulta numa grande economia, pois reduz gastos com eletricidade, transporte de butijão de gás, esgoto, descarte dos demais resíduos.

No entanto, o biogás apresenta um grave inconveniente: a formação de gás sulfídrico ( $H_2S$ ) (gás tóxico), que dependendo do tipo de resíduo, produzirá uma quantidade maior ou menor, implicando uma possível etapa de tratamento do gás obtido, dependendo do uso dado ao mesmo e a escolha adequada do material utilizado na construção do biodigestor, pois que com a formação de gases corrosivos, como o  $H_2S$ , há a longo prazo um custo extra com a manutenção (GUSMÃO, 2008).

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Considerações iniciais**

A Sadia S/A possui um programa de sustentabilidade chamado de Programa 3S (Suinocultura Sustentável Sadia). Através desse programa, a empresa implantou vários biodigestores nos produtores integrados.

Com o objetivo de aumentar/otimizar a produção de gás nesses biodigestores, o corpo técnico da empresa elaborou, através de estudos de instituições de pesquisas, uma proposta de metodologia de melhores práticas de manejo dos biodigestores.

Para a implantação da metodologia do projeto piloto, foi contratada a empresa Avesuy, na qual o autor do presente trabalho realizou estágio obrigatório. A empresa formou uma equipe, da qual o autor fez parte, com os equipamentos necessários para a aplicação da metodologia.

Antes do início das atividades estabelecidas pelo cronograma do Piloto, uma equipe de manutenção da Sadia passou em todas as propriedades e assegurou que todos os itens que seriam avaliados no Piloto estariam em pleno funcionamento. Serviços de manutenção no biodigestor e no queimador foram executados e todas as instalações estavam preparadas para o início dos testes.

O piloto teve a duração de 10 semanas e o cronograma será apresentado mais adiante neste trabalho.

### **4.2 Escolha e caracterização das propriedades**

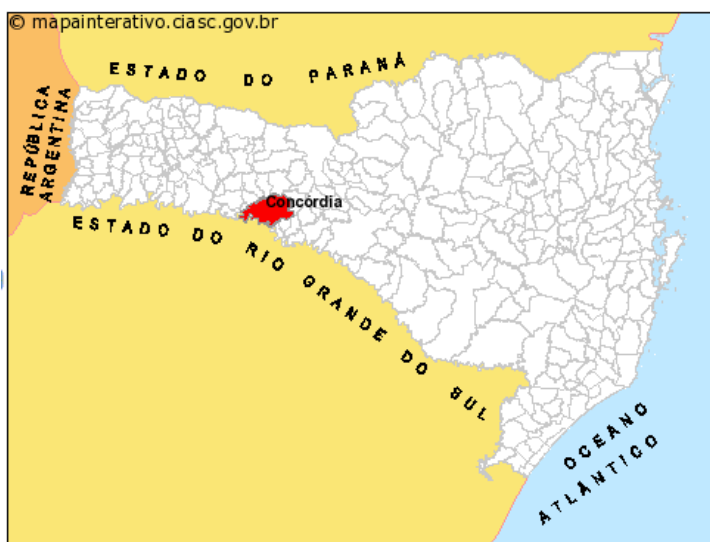
As propriedades participantes do Projeto Piloto estão situadas no município de Concórdia (Figura 3). A escolha dos integrados foi dada



ao perfil de relacionamento dos mesmos em relação ao Programa 3S. Estes produtores possuem uma atitude pró-ativa em relação ao programa e sempre se mostraram participativos em relação a implantação de testes e melhorias nos sistemas. Cinco propriedades se enquadraram no perfil e aceitaram as condições estabelecidas no projeto Piloto. As atividades iniciaram no dia 22/02/2010 e encerram-se no dia 30/04/2010

Entre as 5 propriedades escolhidas, 3 propriedades são UPL's (Unidades Produtoras de Leitões) e as outras 2 são de terminação.

A tabela 5 mostra a localização das propriedades, número de animais em cada uma delas e o volume dos biodigestores.



Fonte: Mapa interativo de Santa Catarina – CIASC 2010

**Figura 3.** Localização da área em estudo

**Tabela 5.** Descrição das propriedades do piloto

Propriedade	Linha	Município	Categoria	Nº de animais	Volume biodigestor (m³)
P1	Planalto	Concórdia	UPL	130	413
P2	Cachimbo	Concórdia	UPL	300	500
P3	Cachimbo	Concórdia	UPL	140	320
P4	Cachimbo	Concórdia	Terminação	560	235
P5	Planalto	Concórdia	Terminação	1200	645

#### **4.3 Estabelecimento das ações de manejo**

A revisão bibliográfica usado pelo corpo técnico da Sadia indicou que são 10 os principais itens de manejo dos biodigestores que devem seguidos no dia a dia e que asseguram o desempenho adequado da produção de biogás. Desta forma, esta equipe preparou 10 OT's (Orientações Técnicas) que foram aplicados nos projetos Piloto. Destas OT's, apenas 3 orientações não foram repassadas para a equipe da Avesuy devido a necessidade de análise química e física dos dejetos.

As OT's da equipe são:

- Controle de água
- Alimentação do biodigestor
- Agitação do biodigestor
- Remoção do lodo
- Controle de materiais tóxicos
- Temperatura dos dejetos
- Limpeza da caixa de entrada

Para relatar as ações feitas em cada dia de trabalho, foi elaborado pela Avesuy um documento denominado relatório de manutenção com o objetivo de registrar as atividades realizadas durante a vigência do projeto piloto. Um modelo do relatório se encontra no apêndice A.

#### **4.4 Cronograma do projeto**

O cronograma foi estabelecido baseado nas atividades que serão desempenhadas durante a aplicação das melhores práticas de manejo. Ele foi fixado por semanas, sendo que ao término de cada semana a equipe de manutenção faz a coleta das informações de desempenho que ocorreram durante a semana de trabalho.

##### *Semana 1*

A primeira semana de trabalho foi focada para a remoção de lodo do fundo do biodigestor. A equipe foi orientada a fazer a remoção dos materiais sedimentados e inertes que estavam no fundo do biodigestor de todas as 10 propriedades. Esse material removido do biodigestor era destinado às esterqueiras. A remoção era feita com uma bomba e mangueiras.

O objetivo desta ação era para dar maior fluidez aos dejetos, remover materiais que não produzem biogás e aumentar a área útil do biodigestor.

##### *Semana 2*

Na segunda semana, a equipe de manutenção foi orientada a continuar com os trabalhos de remoção de lodo do fundo do biodigestor e também fazer a agitação da biomassa presente no biodigestor. A agitação era feita através dos tubos agitadores nas laterais do biodigestor. Uma bomba retirava a biomassa por um tubo e re-introduzida no biodigestor pelo outro tubo. A agitação durava cerca de 30 minutos.

Com a remoção dos materiais inertes e com a promoção da agitação, a matéria orgânica presente nos dejetos entrará em contato garantindo uma completa homogeneização da biomassa.

##### *Semana 3*

A terceira semana continuou com os serviços de agitação da biomassa. Devido ao grande tempo que os biodigestores ficaram parados, foi dada a orientação para a equipe de manutenção para focar o serviço na agitação, aumentando o tempo. Em média, a equipe de manutenção agitou por 1 hora cada biodigestor do projeto.

#### *Semana 4*

A quarta semana começou com uma orientação aos produtores. A proposta era que desta semana e até o final do projeto Piloto, a equipe de manutenção iria assumir a alimentação de dejetos no biodigestor. A proposta aos produtores foi de que a equipe assumisse todas as atividades de liberação das canaletas que conduzem os dejetos para o biodigestor. Com essa tarefa, a equipe iria assegurar que a correta alimentação dos biodigestores seria feita. As atividades de agitação continuaram da mesma forma que na 3ª semana.

#### *Semana 5*

A quinta semana começou com a orientação a equipe de manutenção que os serviços no biodigestores seriam direcionados de duas formas, a primeira seria a continuidade na agitação e a segunda a inoculação de dejetos de bovinos, oriundos de granjas produtoras de gado de leite.

Esta equipe foi orientada a coletar dejetos de bovinos frescos, ou seja, recém estercado para a inoculação dentro dos biodigestores. Essa atividade tem como objetivo aumentar a carga de bactérias metanogênicas dentro dos biodigestores.

#### *Semana 6*

A sexta semana se iniciou com a aplicação de bactérias especialmente preparadas para a produção de biogás. Um fornecedor entregou 10 quilos de pó (bactérias hiofilizadas) para a aplicação nos biodigestores. As espécies de bactérias serão apresentadas no item 4.5.3.

Um técnico da empresa veio até a unidade de Concórdia e treinou a equipe de manutenção nos procedimentos e metodologias de aplicação das bactérias, bem como deixou um cronograma de aplicação. Este procedimento teve a duração de 4 semanas. Durante o projeto, cada biodigestor foi inoculado uma vez por semana, ou seja, cada biodigestor foi inoculado 4 vezes.

Juntamente com as bactérias, a equipe de manutenção não deixou de trabalhar com a agitação e remoção do lodo do fundo dos biodigestores.

#### *Semana 7*

A sétima semana seguiu com aplicação das bactérias e com um forte foco na agitação dos dejetos. O tempo de agitação foi entre 1,5 horas a 2 horas.

### *Semana 8*

A penúltima semana do teste se deu com a penúltima aplicação de bactérias e com a recomendação para a equipe de manutenção aumentar o tempo de agitação nos biodigestores. O tempo de agitação foi de 2,5 horas a 3 horas.

### *Semana 9*

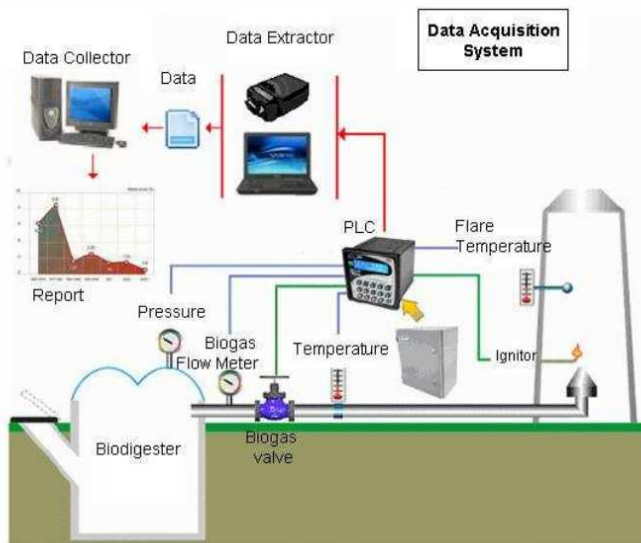
A ultima semana dos testes no Projeto Piloto foi contemplada pela a ultima aplicação de bactérias nos biodigestores, agitação da biomassa, e coleta dos últimos dados de campo do piloto.

### *Semana 10*

Nessa semana os dados foram coletados para verificar o comportamento dos biodigestores após o término do projeto, para a avaliação do desempenho das ações no biodigestor e a apresentação dos resultados mostrando o incremento da vazão de biogás mediante a aplicação das melhores práticas de manejo nos biodigestores.

Os dados eram coletados no final de cada semana. Os equipamentos usados para coleta dos dados serão apresentados no capítulo sobre materiais.

A Figura 4 mostra como funciona o sistema de coleta de dados.



Fonte: cedida por SADIA S/A – Programa 3S

**Figura 4.** Arquitetura do sistema de aquisição de dados

É importante frisar que os dados eram computados quando a pressão dentro do biodigestor atingia 15 mm de coluna de água. Quando essa pressão era atingida, a válvula automática abria a tubulação e o gás passava pelo medidor de vazão, quando a pressão caía para 8 mm de coluna de água a válvula fechava.

## 4.5 Materiais

Os equipamentos utilizados no trabalho de campo serão descritos a seguir.

### 4.5.1 Bomba

Para as atividades de agitação da biomassa e retirada do lodo foi utilizado um conjunto motobomba Branco modelo B4T – 8117CH. A bomba é uma FAL tipo FRMO 32- 160 de 3.500 rpm com um rotor de 150 mm. As figuras 5 e 6 mostram um modelo igual ao utilizado no trabalho.



**Figura 5.** Conjunto motobomba utilizado no projeto



**Figura 6.** Conjunto motobomba utilizado no projeto

#### 4.5.2 CLP

O CLP (Controlador Lógico Programável) foi o equipamento utilizado para controlar toda a operação do queimador (Flaire) que inclui: a operação de controle da pressão do balão, abertura de válvulas da tubulação de gás, registros de temperatura do gás e da queima do gás e registros de falhas e armazenagem de dados era feito pelo CLP.

O modelo utilizado foi o ZAP 900 (Figura 7) do fabricante HI Tecnologia. De acordo com o fabricante, ele possui uma memória de 512 Kbytes de Flash e 128 Kbytes RAM não volátil.



**Figura 7.** CLP (Controlador Lógico Programável) ZAP 900

Para retirar os dados registros no CLP, o fabricante fornece uma unidade de memória portátil (Figura 8) modelo SCD 912. Essa unidade é conectada ao CLP e os dados são transferidos após o fornecimento de uma senha, digitada por um membro da equipe de trabalho. Após coletados, os dados eram enviados para o pessoal responsável da Sadia, para que os dados fossem tratados.



**Figura 8.** Unidade de memória portátil



#### 4.5.3 Bactérias

Como citado no cronograma, bactérias foram inoculadas nos biodigestores. Essas bactérias estavam em pó (liofilizadas). De acordo com o fabricante as espécies de bactérias são:

- *Celvibrio ochacea*;
- *Azotobacter chroococum* – *agilis vinelambis*, *rizobium* e *leguminosarum*;
- *Spirochaeta cytophaga* – *hutehinsoni*;
- *Clostridium aceto botulinicum* – *pastorinium sacharomyce*, e *vulgatus bacilus*.

A inoculação foi feita de acordo com o fabricante, que enviou um técnico para realizar as primeiras aplicações e treinar a equipe.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O trabalho de campo foi realizado no período de 22/02/2010 a 30/04/2010 . Os resultados dos dados obtidos em campo serão apresentados em forma de tabelas e gráficos, para melhorar o entendimento e permitir com maior facilidade a comparação dos resultados entre propriedades.

### 5.1 Propriedade P1

A propriedade P1 (Figura 9) está localizada no município de Concórdia, no distrito de planalto. A propriedade é UPL (Unidade Produtora de leitões) e possui um plantel de 130 matrizes. As dimensões do biodigestor são: 19 x 9,0 x 3,0 m (Comp x Larg x Prof) e o volume útil é 413 m³.



**Figura 9.** Propriedade P1

A figura 10 mostra parte de uma planilha gerada após o processamento dos dados colhidos na propriedade P1. Esse tipo de planilha foi usada em todas as propriedades.

Microsoft Excel - vzg_543071502 Zanela								
Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda								
A5 1/12/2009 12:03:52								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	Vazão	Região	Produtor	Instalação	Data de Início	Data de Término		
3	Vazão	Concórdia"	543071S02	124	1/12/2009 12:00	4/5/2010 23:59		
4	Data/Hora	Vazão	Intervalo (s)	Vazão Totalizada	Data	Vazão Acumulada		
8270	22/2/2010 00:35:35	1,05	1800	0	22/2/10	7011,291225		
8271	22/2/2010 01:05:35	1,05	1800	0	22/2/10	7011,291225		
8272	22/2/2010 01:35:35	1,05	1800	0	22/2/10	7011,291225		
8273	22/2/2010 02:05:35	1,05	1800	0	22/2/10	7011,291225		
8274	22/2/2010 02:35:35	1,05	1800	0	22/2/10	7011,291225		
8275	22/2/2010 03:05:35	1,05	1800	0	22/2/10	7011,291225		
8276	22/2/2010 03:35:35	1,05	1800	0	22/2/10	7011,291225		
8277	22/2/2010 04:05:35	1,05	1800	0	22/2/10	7011,291225		
8278	22/2/2010 04:29:11	1,05	1416	0	22/2/10	7011,291225		
8279	22/2/2010 04:30:18	2,62	67	0	22/2/10	7011,291225		
8280	22/2/2010 04:30:27	5,68	9	0,00655	22/2/10	7011,297775		
8281	22/2/2010 04:30:37	10,31	10	0,015777777	22/2/10	7011,313553		
8282	22/2/2010 04:30:47	15,24	10	0,02863889	22/2/10	7011,342192		
8283	22/2/2010 04:30:55	18,31	8	0,033866667	22/2/10	7011,376058		
8284	22/2/2010 04:31:04	21,89	9	0,045774998	22/2/10	7011,421833		
8285	22/2/2010 04:31:14	23,46	10	0,060805554	22/2/10	7011,482639		
8286	22/2/2010 04:36:13	23,61	299	1,948483334	22/2/10	7013,431122		
8287	22/2/2010 04:41:13	22,42	300	1,967500002	22/2/10	7015,398622		
8288	22/2/2010 04:46:13	22,49	300	1,868333332	22/2/10	7017,266956		
8289	22/2/2010 04:51:13	22,04	300	1,874166669	22/2/10	7019,141122		
8290	22/2/2010 04:56:13	22,49	300	1,836666665	22/2/10	7020,977789		
8291	22/2/2010 05:01:13	22,87	300	1,874166669	22/2/10	7022,851956		
8292	22/2/2010 05:06:13	22,87	300	1,905833332	22/2/10	7024,757789		
8293	22/2/2010 05:11:13	23,84	300	1,905833332	22/2/10	7026,663622		
8294	22/2/2010 05:16:13	24,81	300	1,986666669	22/2/10	7028,650289		
8295	22/2/2010 05:21:13	23,84	300	2,067499998	22/2/10	7030,717789		
8296	22/2/2010 05:26:13	24,21	300	1,986666669	22/2/10	7032,704456		
8297	22/2/2010 05:31:13	23,84	300	2,017499998	22/2/10	7034,721956		
8298	22/2/2010 05:36:13	23,46	300	1,986666669	22/2/10	7036,708622		
8299	22/2/2010 05:41:13	23,09	300	1,954999998	22/2/10	7038,663622		
8300	22/2/2010 05:46:13	23,46	300	1,924166669	22/2/10	7040,587789		
8301	22/2/2010 05:51:13	23,84	300	1,954999998	22/2/10	7042,542789		
8302	22/2/2010 05:56:13	24,29	300	1,986666665	22/2/10	7044,529456		

**Figura 10.** Parte de planilha com os resultados da propriedade P1

Através dos dados da planilha, foi criada uma tabela para demonstrar o impacto das atividades na produção de gás. A tabela 6 mostra os dados de vazão totalizada dos dias 20/02/2010 (antes de iniciar o projeto), dia 22/02/2010 (primeiro dia das atividades) e o dia 12/03/2010 (final da 3ª semana de trabalho).

Vale ressaltar que os dados de vazão medidos, são os que passam pelo queimador, ou seja, o volume de gás contabilizado foi queimado.

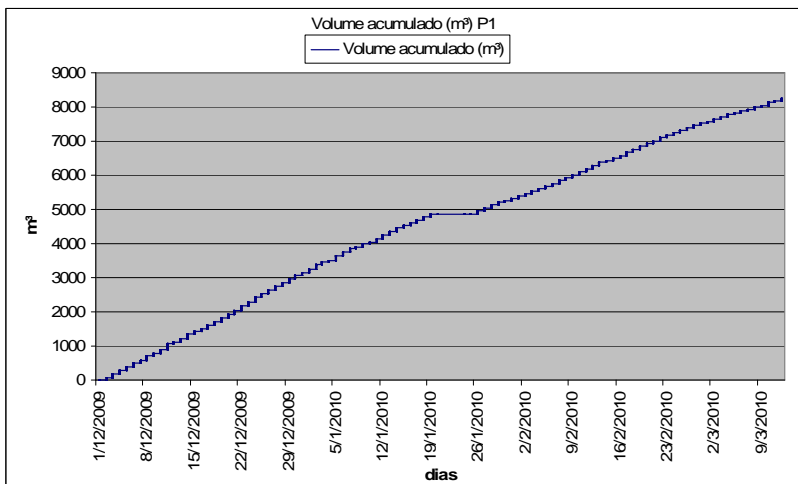
**Tabela 6.** Vazão totalizada no dia.

<b>Data</b>	<b>Vazão totalizada (m³)</b>
20/2/2010	89,57
22/2/2010	93,95
12/3/2010	101,34

A vazão totalizada é calculada pela medida da vazão num período de tempo em que o CLP media, por exemplo, a cada 30 segundos. Com a soma das vazões totalizadas, o resultado é a vazão acumulada do dia. Nota-se na tabela 6 que as atividades já apresentaram resultado no aumento da vazão diária.

O gráfico abaixo mostra a vazão acumulada no período de 01/12/2009 a 12/03/2010.

**Gráfico 1.** Volume acumulado da P1



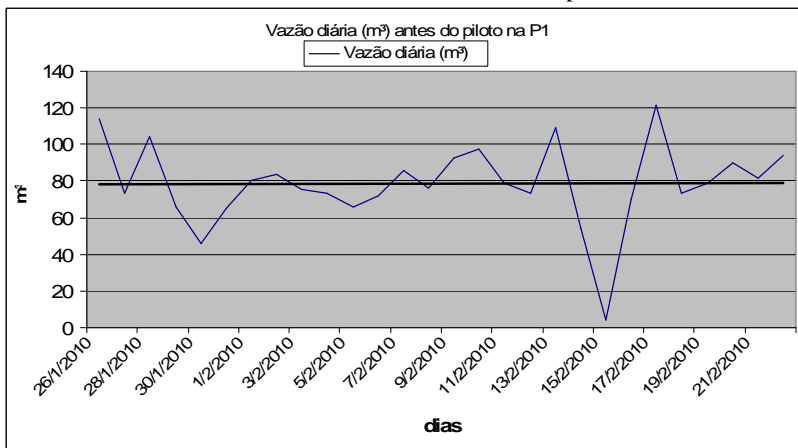
No gráfico 1 é possível ver que nos dias 19/01 a 20/01 o volume acumulado permaneceu estável. Isso ocorreu porque o CLP ficou sem energia para registrar os dados.

O gráfico só mostra os dados até o dia 12/03/2010 porque após esse dia, os arquivos com os dados de coleta estavam corrompidos, tornando os dados não confiáveis.

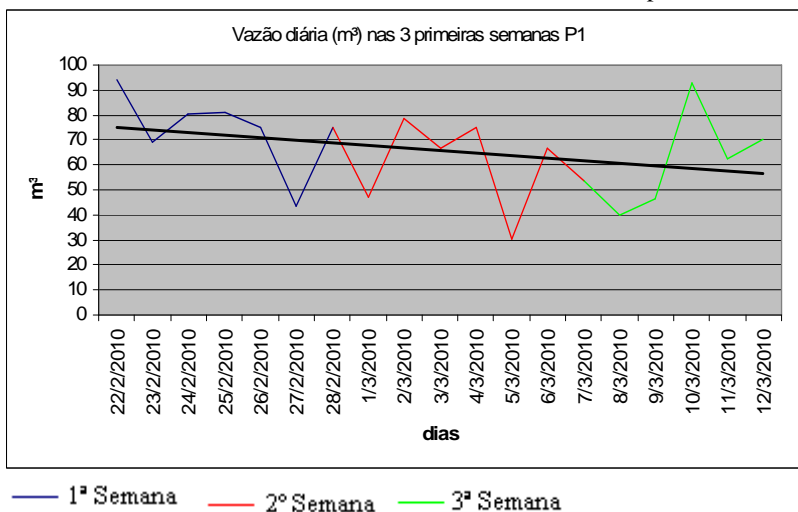
Mesmo assim, é importante avaliar essa propriedade porque os dados coletados vão até o final da 3ª semana de trabalho do projeto piloto.

Para facilitar o entendimento, a seguir serão apresentados gráficos com os dados de antes do projeto (gráfico 2) e durante o projeto (gráfico 3). Os dados do gráfico 2 vão do dia 26/01/2010 até o primeiro dia do projeto que é 22/02/2010.

**Gráfico 2.** Vazão diária totalizada antes do piloto na P1.



**Gráfico 3.** Vazão diária totalizada nas 3 semanas do piloto.



De acordo com a linha de tendência (linha preta) no gráfico 3, a produção de gás apresenta uma queda. É visível que apenas na terceira semana a produção sofre um aumento de cerca de 5% em relação a

semana anterior. Foi nessa semana que o tempo de agitação foi aumentado de 30 minutos para 60 minutos.

Contudo, se forem comparadas as médias de vazão do período anterior ao projeto, que foi de  $78,63\text{m}^3$  por dia com a das 3 semanas de testes, que foi  $65,61\text{m}^3$  por dia, pode-se dizer que o piloto não surtiu o efeito esperado na propriedade P1.

De acordo com os relatórios da equipe de campo, após o dia 02/03/10, a agitação do biodigestor estava um pouco difícil. Isso era devido ao lodo, que estava ficando muito grosso, assim ficando muito pesado para a bomba. Essa dificuldade em agitar a biomassa pode ter interferido nos testes, impedindo que o biodigestor tivesse um resultado positivo, ou seja, aumentasse a produção de biogás.

## 5.2 Propriedade P2

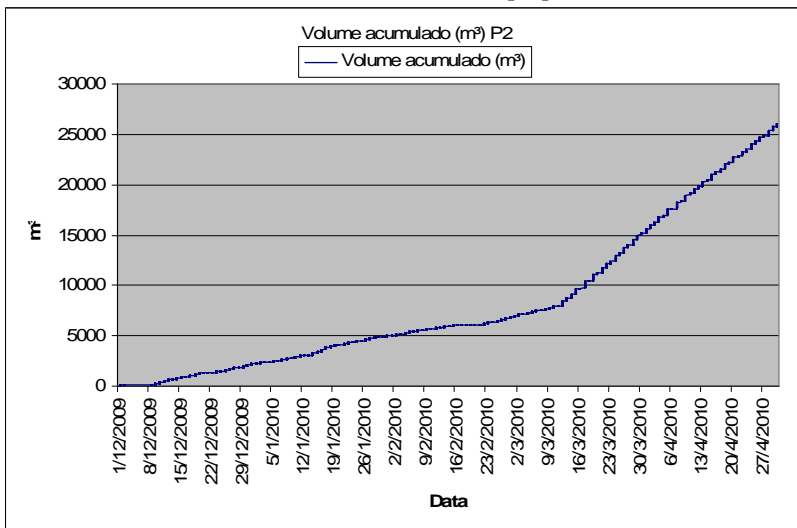
A propriedade P2 (Figura 11) está localizada no município de Concórdia, na Linha Cachimbo. A propriedade é UPL (Unidade Produtora de leitões) e possui um plantel de 300 matrizes. As dimensões do biodigestor são:  $22 \times 9,0 \times 3,2$  m (Comp x Larg x Prof) e o volume útil é de  $500\text{ m}^3$ .

Utilizando do mesmo tipo de planilha da propriedade P1, os dados fornecidos geraram primeiramente um gráfico de vazão. O gráfico 4 mostra a vazão acumulada.



**Figura 11.** Propriedade P2

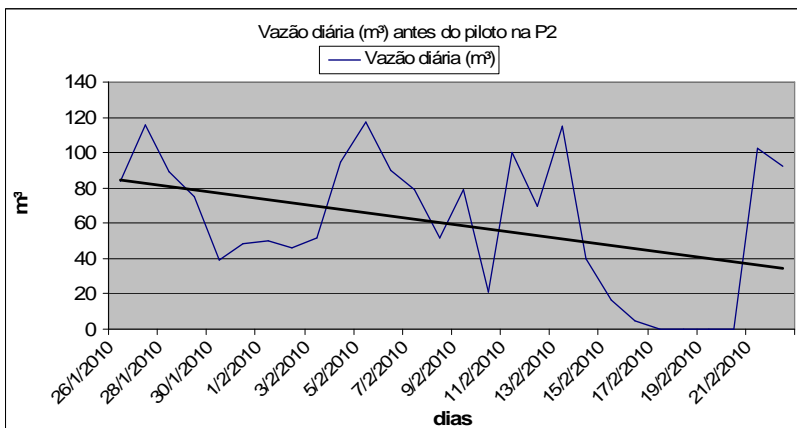
**Gráfico 4.** Volume acumulado da propriedade P2



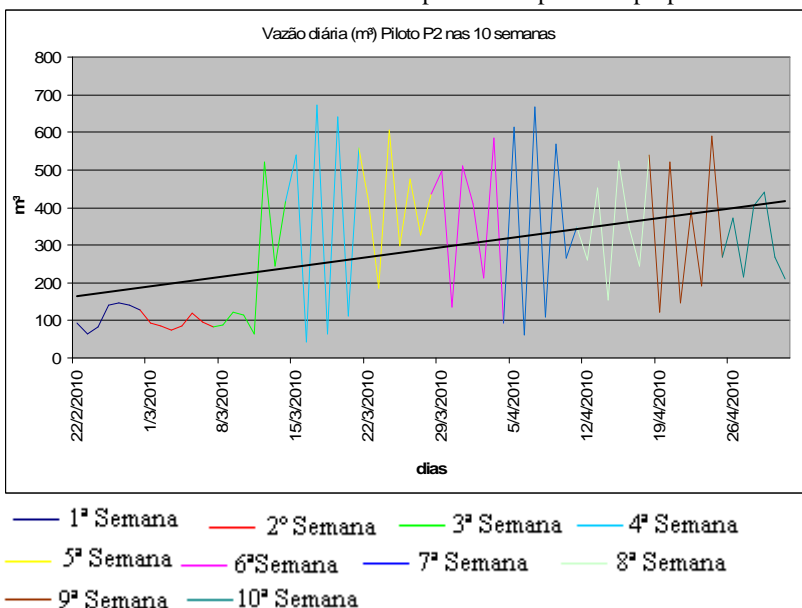
Analisando o gráfico 4, é possível notar que a partir do dia 09/03/2010, o volume acumulado cresce rapidamente e num ritmo constante.

Para facilitar o entendimento, a seguir serão apresentados gráficos com os dados de antes do projeto (gráfico 5) e durante o projeto (gráfico 6).

**Gráfico 5.** Vazão totalizada antes do piloto na P2



**Gráfico 6.** Vazão diária totalizada no período do piloto na propriedade P2



No início da segunda semana, se observa uma queda na produção, de acordo com a equipe de trabalho, nesses dias o lodo dentro do biodigestor estava muito grosso, dificultando a agitação do mesmo.

Seguindo a tendência do final da 2ª semana, a 3ª semana começou com a produção baixa. Porém, de acordo com o gráfico 6, ocorre um salto na produção partir do dia 11/03. Pelos relatórios da



equipe de campo, nesse dia foi possível agitar a biomassa do biodigestor com facilidade e retirar cerca de 15m<sup>3</sup> de material inerte (areia, pêlos, pedra, etc)

Na 4ª semana, a equipe de campo ficou responsável pela liberação dos dejetos no biodigestor. A equipe, quando presente na propriedade, abria as canaletas dos chiqueiros, inserindo os dejetos no biodigestor. Como a equipe visitava a propriedade a cada 48 horas, podemos observar no gráfico 6, que existem picos na produção. Esses picos são exatamente depois da equipe visitar a propriedade, liberar o dejetos e fazer a agitação do sistema.

Na quinta semana é possível perceber que a variação entre os picos de produção é menor e a média de produção é cerca de 8,5 % maior que as outras semanas. Nessa semana foi inoculado dejetos bovinos nos biodigestores.

Na sétima semana, se observa uma queda acentuada no dia 06/04, nesse dia ocorreu uma forte chuva, impedindo a equipe de realizar os trabalhos e também baixando a temperatura ambiente, o que diminuiu a atividade microbiana. No entanto, nessa semana, foi feita a segunda inoculação de bactérias, e que já começa a apresentar resultados no incremento de vazão, representados nos picos do gráfico 6.

Como se pode notar no gráfico, o incremento de vazão no biodigestor da propriedade P2 é notável. A média de produção antes do projeto era de 59,75 m<sup>3</sup>/dia, durante o projeto a média subiu para 291,46 m<sup>3</sup>/dia. Um aumento médio de 231m<sup>3</sup>/dia. Logo, a proposta de manejo teve um resultado positivo, principalmente na quarta e na sétima semana de trabalho.

### **5.3 Propriedade P3**

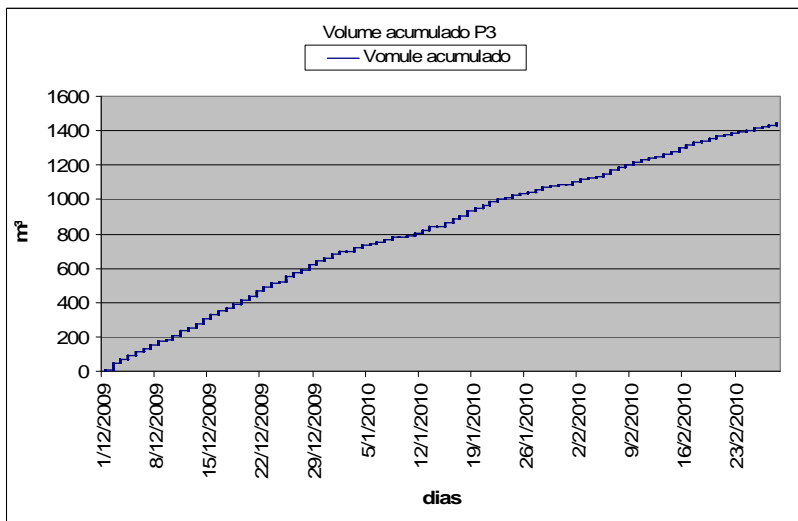
A propriedade P3 ( Figura 12) está localizada no município de Concórdia, na Linha Cachimbo. A propriedade é UPL (Unidade Produtora de leitões) e possui um plantel de 140 matrizes. As dimensões do biodigestor são: 17 x 8,0 x 3,2 m (Comp x Larg x Prof) e o volume útil é 320 m<sup>3</sup>.

O gráfico 7 mostra a vazão acumulada no período de 01/12/2009 até 28/02/2010.



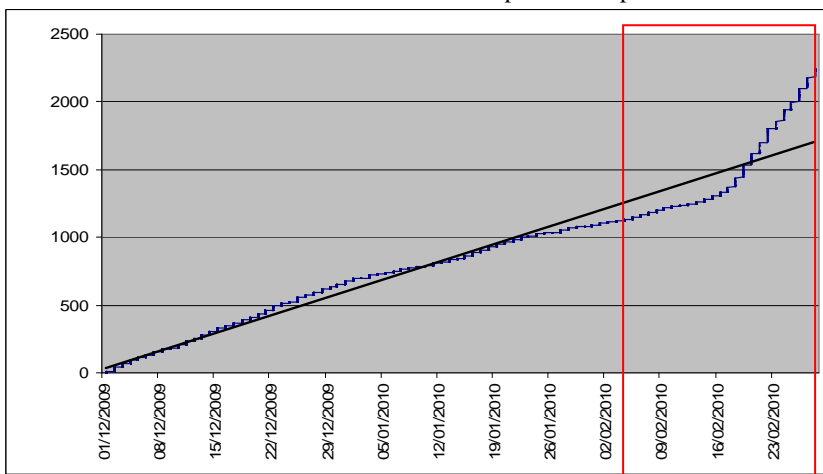
**Figura 12.** Propriedade P3

**Gráfico 7.** Volume acumulado da P3



O gráfico 8, confeccionado pela Sadia, mostra com mais detalhe, o incremento de vazão no biodigestor após o início do projeto. A área em vermelho destaca o momento do incremento de vazão, bem no início do piloto.

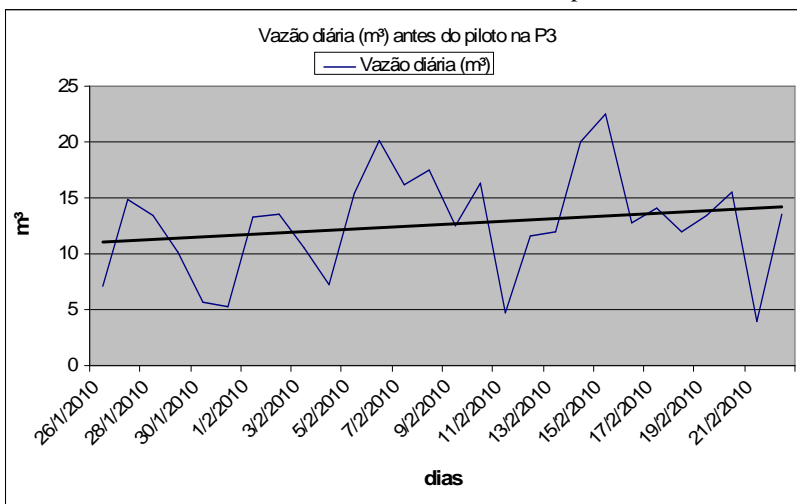
**Gráfico 8. Incremento de vazão no período do piloto**



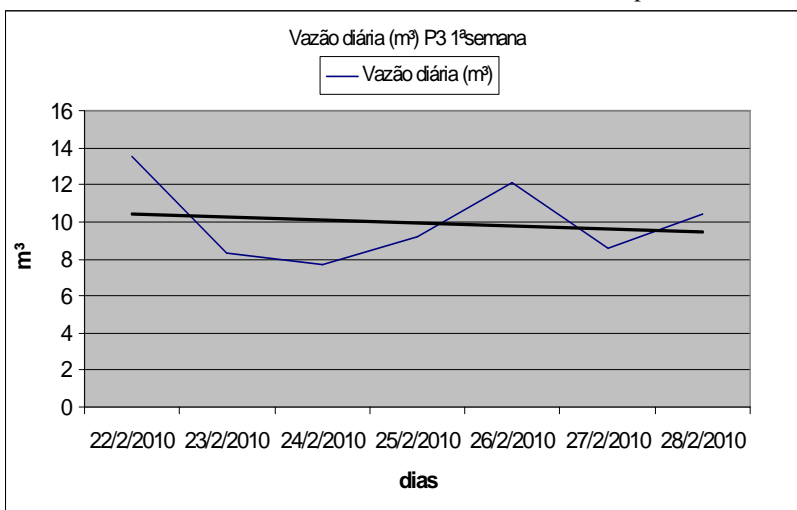
**Fonte: Cedido pela Sadia S/A**

O gráfico 9 mostra o funcionamento do biodigestor antes do início do projeto. O período mostrado corresponde a 26/01/2010 até 22/02/2010

**Gráfico 9. Vazão diária totalizada antes do piloto na P3**



**Gráfico 10.** Vazão diária totalizada 1ª semana do piloto



Por problemas técnicos, os dados referentes aos outros dias do piloto na propriedade P3 não foram registrados pelo CLP. Houve tentativas de recuperar os dados, mas não foi possível.

De acordo com o gráfico 8, na primeira semana de trabalho o biodigestor apresentou uma tendência de queda, como pode-se ver na linha de tendência no gráfico (linha preta).

As observações e anotações da equipe de campo ressaltam que o biodigestor sempre funcionou muito bem. Durante as visitas, raramente o balão estava murcho. Se não fosse o problema técnico, que só pôde ser detectado no final do piloto, esse biodigestor teria um resultado muito satisfatório, mesmo tendo uma média de produção na 1ª semana mais baixa que antes do piloto, 9,98 m³/dia e 12,68 m³/dia respectivamente.

Porém, como são poucos dados para uma análise válida, os resultados da propriedade P3 não serão considerados nesse trabalho.

#### **5.4 Propriedade P4**

A propriedade P4 (Figura 13) está localizada no município de Concórdia, na Linha cachimbo. A propriedade é de terminação e possui um plantel de 560 animais. As dimensões do biodigestor são: 15 x 7,0 x 3,2 m (Comp x Larg x Prof) e o volume útil é 235 m³.

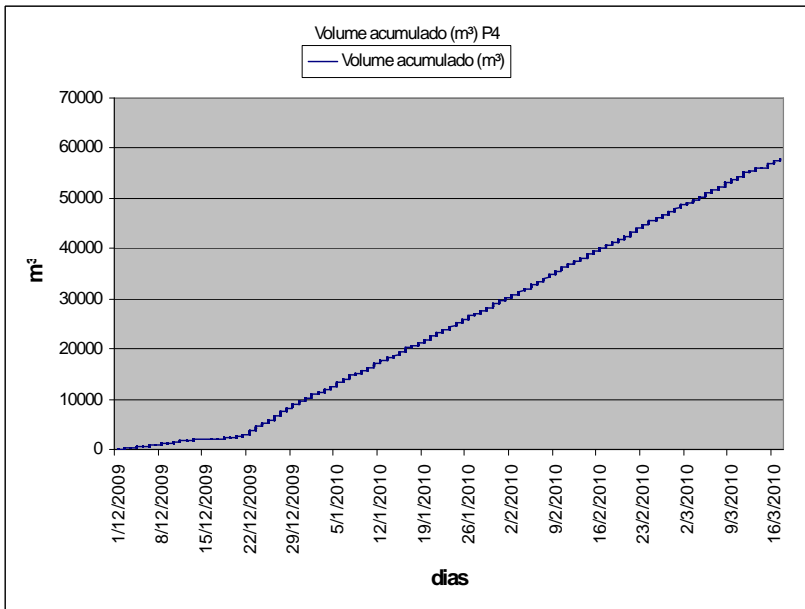
O gráfico 11 mostra o volume acumulado de 01/12/2009 até 17/03/2010.



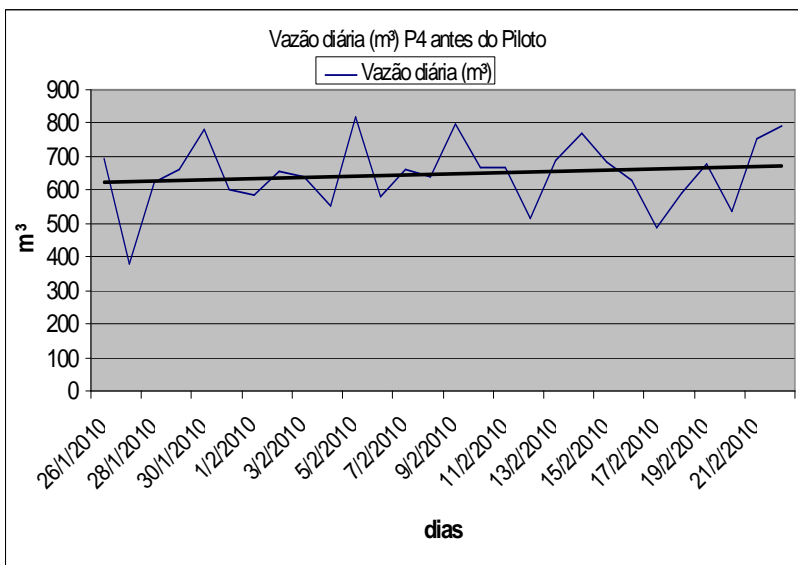
**Figura 13.** Propriedade P4

O gráfico 12 mostra a vazão diária no período anterior ao projeto piloto.

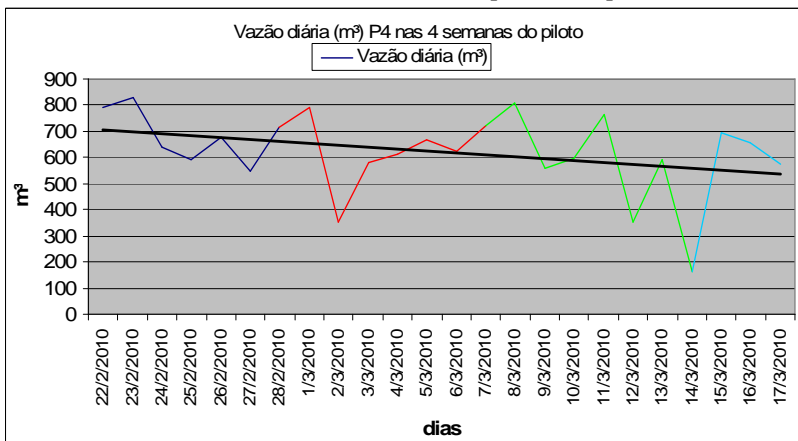
**Gráfico 11.** Volume acumulado de 01/12/09 até 17/03/2010



**Gráfico 12.** Vazão diária antes do piloto na P4



**Gráfico 13.** Vazão diária totalizada no período do piloto na P4



— 1ª Semana — 2ª Semana — 3ª Semana — 4ª Semana

Na propriedade P4 apenas os dados até a quarta semana foram obtidos porque houve um problema no CLP, aparelho que armazenava os dados.

No gráfico 13, na 3ª semana observa-se que acontece uma diminuição da produção. De acordo com os relatórios da equipe de

campo, do dia 07/03 até o dia 14/03 não foi possível retirar o lodo do biodigestor porque a esterqueira estava cheia. Também no gráfico 13, pode-se notar que a pela linha de tendência (linha preta) a produção de biogás diminui. Tanto que a média de produção no período anterior ao projeto era 647,23 m<sup>3</sup>/dia e no período do projeto ficou em 620,73 m<sup>3</sup>/dia.

Portanto, nessa propriedade não se pode dizer se o manejo proposto funcionou ou não. Primeiro porque nem todos os dados foram obtidos e segundo, porque os relatórios da equipe de campo sempre mostraram um bom funcionamento do biodigestor. Uma das razões pela queda de produção se deve ao início do período de vazio sanitário, onde o chiqueiro fica sem animais por 7 dias. De acordo com o produtor esse vazio aconteceu no início da terceira semana.

### **5.5 Propriedade P5**

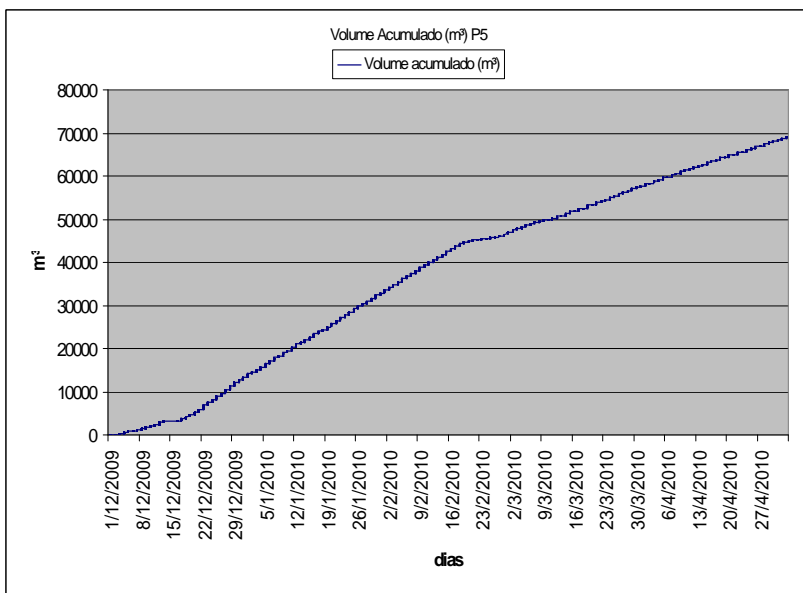
A propriedade P5 (Figura 14) está localizada no município de Concórdia, no distrito de Planalto. A propriedade é de terminação e possui um plantel de 1.200 animais. As dimensões do biodigestor são: 23 x 11,0 x 3,2 m (Comp x Larg x Prof) e o volume útil é 645 m<sup>3</sup>.

O gráfico 14 mostra a vazão acumulada da propriedade P5 no período de 01/12/2009 até 03/05/2010.



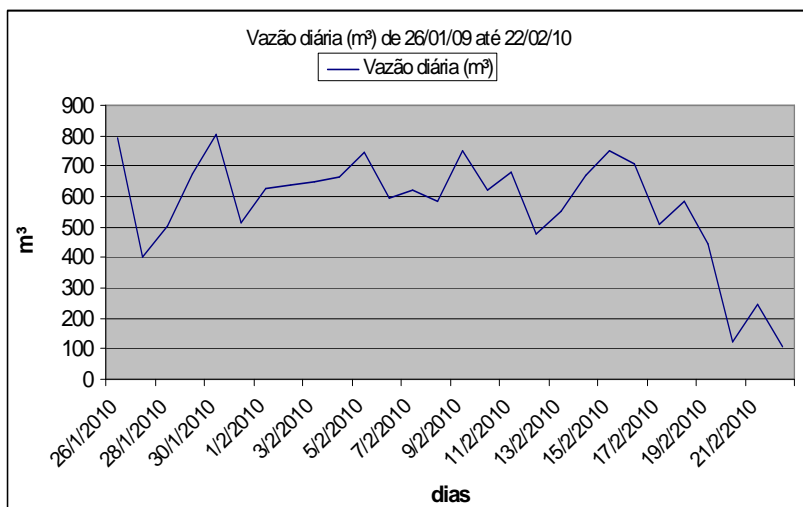
**Figura 14.** Propriedade P5

**Gráfico 14. Volume acumulado P5**



Como mostrado na outras propriedades, o gráfico 15 se refere à vazão totalizada diariamente no período de 26/01/2010 até 22/02/2010.

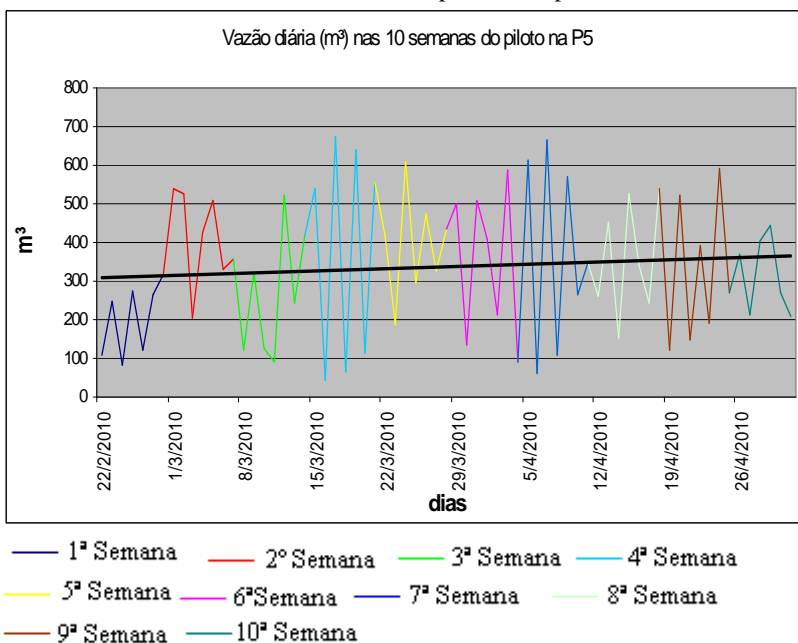
**Gráfico 15. Vazão diária totalizada P5 de 26/01/09 até 22/02/10**





No gráfico 15, se observa que o biodigestor vem diminuindo a produção de gás. O motivo dessa queda pode ter sido o período de vazio sanitário, onde os chiqueiro fica sem animais por no mínimo 7 dias. Outro motivo seria a lavagem das baias do chiqueiro, onde é utilizada muita água e assim diluindo os dejetos dentro do biodigestor, ou o produtor utilizou algum produto na limpeza que acabou afetando a população microbiana dentro do biodigestor.

**Gráfico 16.** Vazão diária no período do piloto na P5



No gráfico 16, é possível perceber a grande variação da produção de gás. Se for comparado com o gráfico 15, verifica-se que o biodigestor vinha numa queda de produção e que ao iniciar o projeto piloto a produção volta subir, mas com constantes quedas principalmente nos dias em que não houve visita da equipe de campo. Pode-se destacar a quarta e sétima semana, onde os picos de produção são maiores. Isso pode ser explicado, de acordo com o cronograma, pelo aumento do tempo de agitação e também pela inoculação de bactérias.

Com todos esses dados, foram elaboradas as tabelas 7 e 8 contendo, a vazão mínima, média e máxima diária no período antes do

projeto (26/01/10 até 22/02/10) e a tabela 8 com os mesmo parâmetros, mas com os dados do piloto.

**Tabela 7.** Vazões mínimas, médias e máximas antes do piloto.

Propriedade	Categoria	Nº de animais	Volume biodigestor (m³)	vazão diária mínima (m³)	vazão diária média (m³)	vazão diária máxima (m³)
P1	UPL	130	413	4,09	78,63	121,22
P2	UPL	300	500	0	59,75	115,642
P3	UPL	140	320	3,96	12,68	22,43
P4	Terminação	560	235	381,79	647,2	818,12
P5	Terminação	1200	645	107,64	573	801,13

**Tabela 8.** Vazões mínimas, médias e máximas do piloto.

Propriedade	Categoria	Nº de animais	Volume biodigestor (m³)	Vazão diária mínima (m³)	Vazão diária média (m³)	Vazão diária máxima (m³)
P1	UPL	130	413	30,2	65,61	93,95
P2	UPL	300	500	64,69	291,5	673,14
P3	UPL	140	320	7,73	9,98	13,56
P4	Terminação	560	235	165,26	620,7	831,17
P5	Terminação	1200	645	41,4	337,1	673,14

Analisando as tabelas 7 e 8 se observa que a P2 obteve o melhor resultado. Isso se deve ao fato de que a P2 teve os dados das 10 semanas calculados, enquanto a P1 teve 3 semanas, a P3 teve 1 semana, a P4 teve 4 semanas e apenas a P5 também teve 10 semanas de dados.

O fato de a P2 e a P5 terem as mesmas 10 semanas, mas resultados diferentes, isso pode ser por causa da diferença de volume dos biodigestores e também á categoria que cada uma pertence. Pois como a P2 é uma UPL, existe uma produção maior de efluentes devido as matrizes que excretam muita água. Na P5, uma unidade de terminação, a produção de efluentes por cabeças é menor porque o dejetos tem menos água, porém é mais concentrado. Outro fator que pode

ter contribuído para a diferença entre P2 e P5 foi o período de vazio sanitário, onde P5 ficou cerca de 7 dias sem animais no chiqueiro, com o dito na página 55.

As dificuldades encontradas durante o projeto também contribuíram para o resultado negativo de algumas propriedades. A dificuldade de agitar o lodo espesso depositado no fundo dos biodigestores, entupimento de bombas, problemas com válvulas e equipamentos eletrônicos de medição foram as principais dificuldades encontradas no projeto piloto.

## 6 CONCLUSÕES

Analizando os gráficos e tabelas, nota-se que os biodigestores começaram a responder ao manejo proposto na terceira semana. Foi nessa semana que o tempo de agitação aumentou para uma hora. Nos gráficos 3 e 6 o aumento de produção de gás é notável no meio da 3ª semana. Isso mostra que a agitação, feita por um período de tempo maior teve resultados positivos.

Nos gráficos 6 e 16 verifica-se que na 4ª e 7ª semana os picos de produção são altos e apresentam uma grande variação. Na quarta semana a equipe assumiu a alimentação de dejetos no biodigestor e manteve o tempo de agitação da terceira semana (1h). Já na sétima semana, teve a segunda aplicação de bactérias e aumento do tempo de agitação para 1,5 a 2 horas. Com isso, pode-se concluir que o manejo apresentou um bom resultado, apesar de no caso da P5 (ver tabela 8) a vazão média ter diminuído no período do projeto. Outro aspecto a ser comentado é que nos dias que o biodigestor recebeu o manejo houve aumento de produção de gás (picos), porém quando não era feita nenhuma atividade a produção caía consideravelmente. Com essa observação, fica claro que o manejo diário do biodigestor é muito importante para ter uma boa eficiência na produção de biogás.

Fazendo uma análise geral dos resultados de cada propriedade, o manejo não apresentou o resultado esperado, que era de aumentar a produção de gás em todas as propriedades. Porém no caso da P2, o manejo funcionou muito bem. As razões das outras propriedades não obterem um resultado satisfatório podem ser: o período de vazio sanitário, o uso de antibióticos nos porcos doentes que pode diminuir a população microbiana no biodigestor e o problema com o registro de

dados nas propriedades P1, P3 e P4 que impediu de se fazer uma análise maior.

Apesar dos problemas e dificuldades encontradas durante o projeto piloto, o manejo mostrou sua importância no que se refere ao aumento de produção de biogás, principalmente pelas atividades de agitação e controle diário da entrada de dejetos no biodigestor.

Esse trabalho é o primeiro degrau para futuros estudos envolvendo o manejo do biodigestor e sua relação com a produção de biogás e até a qualidade do efluente tratado.

## **7 RECOMENDAÇÕES**

- É recomendado um estudo mais aprofundado na área de manejo de biodigestores, principalmente com um período de tempo maior;
- Avaliar do ponto de vista energético e financeiro a relação manejo x produção de biogás;
- Analisar a temperatura da biomassa dentro do biodigestor e verificar a sua influência na produção de gás;
- Analisar biodigestores de volumes e categorias iguais em diferentes regiões para verificar qual a real influência dos fatores climáticos;
- Verificar a influência do tipo de alimentação do suíno na produção de biogás;
- Conscientizar o produtor rural da importância do tratamento dos dejetos de suínos e também dos benefícios da utilização do biogás;
- Valorizar a produção de biogás como alternativa energética e como energia renovável, e divulgar os benefícios ao mercado em geral, e às indústrias de equipamentos, em particular, de modo a entenderem a importância da fabricação de equipamentos de medição de biogás precisos e de baixo custo.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCS. Associação Catarinense de Criadores de Suínos. Histórico da Suinocultura. 2006. Disponível em: <http://www.accs.org.br>. Acesso em: 22/03/2009.

ALVES, R. G. C. M. Tratamento e valorização de dejetos da suinocultura através de processo anaeróbio – operação e avaliação de diversos reatores em escala real. 2007. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

BELLI F°, P. Stockage e odeurs des dejections animales, cas du lisier de porc. Thèse de Doctorat de L'Université de Rennes I. France, 1995.

CENTRO PARA A CONVERSÃO DE ENERGIA (CCE). Guia técnico de biogás. Amadora, Portugal: AGEEN – Agência para a Energia, 2000. 117p.

CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte, MG: UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997. v. 5. 246 p

GOSMANN, H. A. Estudos comparativos com bioesterqueira e esterqueira para armazenamento e valorização dos dejetos de suínos. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (PPGEA). Florianópolis, 1997.

GUSMÃO, M. M. F. C. Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina. Maria Margarida Falcão e Cunha de Campos Gusmão – Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2008. 170 f.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário, 2008. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>> Acesso em: 28/03/2010.

KONZEN, E. A. Manejo e utilização de dejetos suínos. Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, 1983. 32p. (EMBRAPA - CNPSA. Circular Técnica, nº6).

KUNZ, A. Tratamento de dejetos: desafios da suinocultura tecnificada. Agronline.com.br. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=382>>. Acesso em: 20/03/2009

KUNZ, A., OLIVEIRA, P. A. V. (coordenadores). Anais da reunião técnica sobre biodigestores para tratamento de dejetos suínos e uso de biogás. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 53p. – (Documentos / Embrapa Suínos e Aves, ISSN 0101-6245; 106).

KUNZ, A., OLIVEIRA, P. A. V. (elaboradores). Folheto informativo Embrapa – Suínos e Aves. Setembro/2008

MAGALHÃES, A. P. T. Biogás: um projeto de saneamento urbano. São Paulo: Nobel, 1986. 120p

MALINA Jr., J.F.; POHLAND, F.G. Design of Anaerobic Processes for the treatment of industrial and Municipal Wastes, Techtronic Publishing Inc. USA. Vol. 7, 214 p, 1992.

METCALF & EDDY (1991) Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse. METCALF & EDDY, Inc 3th ed, 1334 p

MIRANDA, C. R. Avaliação de estratégias para a sustentabilidade da suinocultura em Santa Catarina. 2005. 264 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MONTEIRO, L. W. S. Avaliação do desempenho de dois sistemas em escala real para o manejo dos dejetos suínos: Lagoa armazenamento comparada com biodigestor seguido de lagoa de armazenamento. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005. 146 p.

OLIVEIRA, P. A. V. et al. Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. Concórdia: EMBRAPA – CNPSA, 1993, 188p.

OLIVEIRA, P. A. V. Projeto de biodigestor para produção de biogás em sistema de produção de suínos. EMBRAPA, Concórdia, S/D.

OLIVEIRA, P. A. V., HIGARASHI, M. M. Geração e utilização do biogás em unidades de produção de suínos. Programa Nacional do Meio Ambiente – PNMAII; Projeto de Controle da Degradação Ambiental Decorrente da Suinocultura em Santa Catarina. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 42 p.

PEREIRA, E.R.; DEMARCHI, J.J.A.A; BUDIÑO, F.E.L.

**BIODIGESTORES – Tecnologia para o manejo de efluentes da pecuária**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em:

<[http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_4/biodigestores/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_4/biodigestores/index.htm)>. Acesso em: 02/04/ 2010.

PINTO, R. O. Avaliação da digestão anaeróbia na bioestabilização de resíduos orgânicos, lodos de tanques sépticos, dejetos suínos e lixiviado. 2006. 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SILVA, F. C. M. Tratamento dos dejetos suínos utilizando lagoa de alta taxa de degradação em batelada. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996. 115p.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. Tratamento anaeróbio de esgotos. Um manual para regiões de clima quente. Campina Grande – PB, 1994. Ed. epgraf.

ZAGO, S. Potencialidade de produção de energia através do biogás integrada à melhoria ambiental em propriedades rurais com criação intensiva de animais, na região do Meio Oeste Catarinense. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Regional de Blumenau. Blumenau, 2003. 90 p.

ZEEMAN, G. (1991). Mesophilic and psychrophilic digestion of liquid manure. Tesis Doctor. Landbouwniversiteit. Wageningen, Netherlands.

## 9 APENDICES

### 9.1 Apêndice A

Apêndice A – Modelo do relatório usado pela equipe de campo.

Integrado:		Nº anexo/matriz:		G18	
Endereço:		Categoria: ( )UPD ( )UPL ( )Crescimento (X)Terminação ( )C			
Cidade:		<b>DADO(S) BIODIGESTOR(ES)</b>			
A Unidade: (X)Candócia-SO ( )Tolosa-PR ( )Dair Vizinhar-PR ( )Três Passos-RS		Nº Biotodigester(oz): ( )01 ( )02 ( )03 ( )04			
D Obra: <b>BIODIGESTOR</b>		Dimensões Vaso: Compr.(m)		Larg.(m)	
D Data Vício:		Dimensões Caixa: Compr.(m)		Larg.(m)	
S Equip. Manutenção:		Marche/Clouddimiflavan		Prof.(m)	
		Pressão(mmHg)		Vazão(m³/h)	
		Temperatura Ambiente(°C)			
<b>BIODIGESTOR</b>					
<b>Item Analisador</b>		<b>Avaliação</b>			
B Acesso ao(z) Biotodigester(oz)		( ) Tem Acesso ( ) Não tem Acesso			
C Caixa de Entrada		( ) Sem Vazamento ( ) Com Vazamento ( ) Limpa ( ) Com Resíduo			
D Vaso de Concreto		( ) Inteiro ( ) Com Rachadura ( ) Rampado ( ) Problemático na Estrutura			
E Dreno de Gás		( ) Apresenta Vazamento ( ) Não Apresenta Vazamento			
F Tuba Aquidutriz/Retirada de Lodo		( ) Sem Vazamento ( ) Com Vazamento ( ) Quebrada ( ) Sem Problema			
G Manta Revestimento		( ) Apresenta Vazamento ( ) Não Apresenta Vazamento			
H Ginchon		( ) Apresenta Furo(z) ( ) Não Apresenta Furo(z)			
S Manta Cobertura		( ) Apresenta Furo(z) ( ) Não Apresenta Furo(z)			
T Chapaz Zinco 216x24		( ) Até 15% Oxidação ( ) 16-25% Oxidação ( ) 26-35% Oxidação ( ) 36-50% Oxidação ( ) 50% Oxidação			
O Chumbador 3/8"x2,12" Galvanizado 6,8 cm		( ) Até 15% Oxidação ( ) 16-25% Oxidação ( ) 26-35% Oxidação ( ) 36-50% Oxidação ( ) 50% Oxidação			
R Válvula de Segurança		( ) Operando ( ) Não Operando			
B Externa da Biot		( ) Limpa ( ) Suja			
Corrosão Tolosa		( ) Até 15% Danificada ( ) 16-25% Danificada ( ) 26-35% Danificada ( ) 36-50% Danificada ( ) 50% Danificada			
<b>SISTEMA DE CONDUÇÃO DE QUEIMA DO BIOGÁS - FLAIRE</b>					
<b>Item Analisador</b>		<b>Avaliação</b>			
F Registra PVC de Saída do Biot		( ) Apresenta Vazamento ( ) Não apresenta Vazamento			
Tubulação de Condução do Biot		( ) Apresenta Vazamento ( ) Não apresenta Vazamento			
L Válvula Carter-Chama		( ) Operando ( ) Não Operando			
A GLP		( ) Operando ( ) Não Operando			
I Válvula de Bloqueio		( ) Operando ( ) Não Operando			
R Ignitor		( ) Operando ( ) Não Operando			
E Flare - Funcionamento		( ) Operando ( ) Não Operando			
Flare - Instalamento		( ) Instalado ( ) Não Instalado			
Flare - Oxidação		( ) Até 15% Oxidação ( ) 16-25% Oxidação ( ) 26-35% Oxidação ( ) 36-50% Oxidação ( ) 50% Oxidação			
T6 Filtro		( ) Instalado ( ) Não Instalado			
<b>BIODIGESTOR - MANUTENÇÕES</b>					
<b>Item</b>		<b>Manutenção Executada</b>			
O Limpeza da Caixa de Entrada		( ) Sim ( ) Não - sem necessidade			
D Limpeza Externa do Biotodigester - Corco		( ) Sim ( ) Não - sem necessidade			
I Chapaz Zinco 216x24		( ) Metral Tracado ( ) Metral Lixado e Pintado			
G Chumbador 3/8"x2,12" Galvanizado 6,8 cm		( ) Unidade Tracada ( ) Unidade Lixada e Pintada			
E Concreto - Manta Cobertura		( ) Manta Conservada ( ) Manta Conservada e Pintada			
S Concreto - Manta Cobertura		( ) Manta Conservada ( ) Manta Conservada e Pintada			
T Aquecimento do Sistema		( ) Minutur ( ) Minutur			
R Retirada de Lodo		( ) m³ Retirado ( ) m³ Retirado			
Condução do dejetos no biotodigester		( ) Vazou por dia ( ) Vazou por semana			
<b>SISTEMA DE CONDUÇÃO DE QUEIMA DO BIOGÁS - FLAIRE - MANUTENÇÃO</b>					
<b>Item Tracado</b>					
F ( ) Registra PVC de Saída do Biot		( ) Ignitor ( )			
A ( ) Válvula Carter-Chama		( ) GLP ( )			
I ( ) Válvula de Bloqueio		( ) Filtro ( )			
R ( ) Válvula de Bloqueio		( ) Medidor de Vazão ( )			
<b>OBSERVAÇÕES</b>					